

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ FRÈRES MENTOURI CONSTANTINE 1  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE VÉGÉTALE



N° d'ordre : 33/DS/2019

N° de série : 03/EV/2019

## THÈSE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Écologie et Environnement

Option

*Gestion et pathologies des écosystèmes forestiers*

### THÈME

Application du SIG et de la télédétection pour  
un outil cartographique d'aide à la gestion des  
feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf

Présenté par :

Mr ARFA Azzedine Mohamed Touffik

Soutenu le : 23/02/2019

Devant le jury :

Président : Mr. ALATOU Djamel

Directeur : Mr. BENDERRADJI Med El Habib

Co-directeur : Mr. SAINT-GERAND Thierry

Examineur : Mr. GHARZOULI Rachid

Examineur : Mme. TATAR Hafiza

Examineur : Mr. BOUNAR Rabah

Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1

Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1

Prof. Université de Caen Normandie, France

Prof. Université Ferhat Abbas Sétif 1

Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1

MCA. Université Mohamed Boudiaf M'sila

2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
الَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
الَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ

# *Remerciements*

# Remerciements

*Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans les études, qui m'a donné courage et patience pour traverser tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever cette thèse.*

*Les travaux synthétisés dans ce document n'auraient jamais existé sans le concours de nombreuses personnes. C'est donc avec un grand plaisir que je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué aux résultats présentés dans cette thèse.*

*En premier lieu, c'est à mon directeur, le Pr BENDERRADJI Med El Habib, que je dois respect et gratitude pour m'avoir guidé afin de mener à bien cette thèse. Sa disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, ses remarques pertinentes et ses suggestions ont sans cesse permis l'amélioration de la qualité de ce document.*

*Je remercie également mon co.directeur, le Pr SAINT-GERAND Thierry de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire IDEES de Caen, de m'avoir guidé tout au long de cette recherche et de m'avoir soutenu et réconforté lors des moments difficiles que j'ai traversé. Merci pour votre gentillesse et votre bonté.*

*Je remercie également tous les autres membres du jury qui ont accepté de s'intéresser à mes travaux et m'ont apporté leur jugement d'experts :*

*Mr ALATOUI Djamel, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, qui a accepté de présider le jury.*

*Mr GHARZOULI Rachid, Professeur à l'Université Ferhat Abbas Sétif 1, qui a accepté de faire partie du jury.*

*Mme TATAR Hafiza, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, qui a accepté de faire partie du jury.*

*Mr BOUNAR Rabah, Maître de conférence à l'Université Mohamed Boudiaf M'sila, qui a bien voulu être membre de ce jury.*

*Je remercie également Mr Marc CÔTE Professeur émérite à l'Université de Provence Aix-Marseille, pour ses conseils et remarques pertinentes.*

*Je tiens à remercier Mme GHÉRIBI Zebida Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, pour ses conseils et remarques pertinentes concernant l'étude statistique.*

*Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à tous les conservateurs qui se sont succédé au niveau de la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf entre 2008 et 2018, de Mr TEYAR Mohamed jusqu'à Mr WANADA Mounder, qui malgré leur nombreuses obligations, ont aimablement accepté de m'accueillir au sein de leur administration.*

*Je remercie également tout le personnel de la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf et en particulier :*

*Mr HACINI Smain, Chef de Protection de la Faune et de la Flore.*

*Mr GACMI Tahar, Ingénieur en Informatique cellule SIG.*

*Je tiens à remercier tout le personnel des 5 circonscriptions des forêts de la wilaya d'El Tarf et en particulier :*

*Mr DADOU Mohamed, Chef de Circonscription des forêts de Drean.*

*Mr SEBTI Ali, Chef de Circonscription des forêts d'El Tarf.*

*Mr LAOUAR Abdelfatah, Inspecteur principal, Circonscription des forêts d'El Tarf*

*Mr HAMIS Salem, Brigadier principal, Circonscription des forêts d'El Tarf*

*Mr MEFTEH Zohir, Chef de Circonscription des forêts d'El Kala.*

*Mr BOUCHTILA Zoubir, Ex Chef de Circonscription des forêts de Bouhadjar*

*Mr BENACER Fares, Chef de Circonscription des forêts de Bouhadjar.*

*Je tiens à remercier tout le personnel de l'ensemble des districts et triages des forêts de la wilaya d'El Tarf et en particulier :*

*Mr BELKHARCHOUCHE Abdelaziz, Chef de district des forêts de Chihani.*

*Mr LAICHE Brahim, Chef de district des forêts de Ramel Souk.*

*Mr HOULI Bachir, Chef de district des forêts d'El Kala.*

*Mr ABIDAT Hadj, Ex Chef de triage des forêts d'Ain El Assel.*

*Mr TLILI Fethi, Chef de triage des forêts de Bouhadjar.*

*Mr ZERIBI Nouri, Inspecteur des forêts, district d'Ain El Assel.*

*Mr HAMIS Tayeb, Chef de district des forêts de Bouhadjar.*

*Mr BEKKAR Abdelghani, Brigadier principal des forêts, district d'El Aioun.*

*Mr KHALDOUN Ramdane, Chef de district des forêts d'El Aioun.*

*Mr SADOUNI Mostefa, Chef de district des forêts d'Ain Kerma.*

*Mr GUEDOURI Djamel, Chef de triage des forêts de Bouteldja.*

*Mr BOUZIANE Rachid, Chef de district des forêts de Bouteldja.*

*Mr GUEMIDI Saïd, Chef de district des forêts d'El Tarf.*

*Mr BOUHALEB Boudjemaa, Brigadier principal des forêts, district de Zitouna.*

*Mr KHALEDI Abdelkarim, Chef de district des forêts de Hammam Beni Salah.*

*Mr BOUTOBA Lotfi, Chef de triage des forêts d'Oum Teboul.*

*Mr SAADOUNI Abdelaziz, Chef de district des forêts de Ramel Souk.*

*Mr HACINI M'barek, Chef de district des forêts de Bougous.*

*Mr SMILI Abdelhamid, Chef de triage des forêts de Berrihane.*

*Mr BELATIFA Faycel, Brigadier principal des forêts, district de Bouteldja.*

*Je remercie mon oncle le Dr MAZRI Farid de m'avoir apporté assistance lors de mes déplacements à El Tarf.*

*Je remercie également mon oncle Mr MAZRI Salim pour son soutien.*

*Ma reconnaissance va aussi vers ma famille, mes collègues et amis qui ont su me supporter en toute circonstance.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon épouse BOUANINBA Djahida pour son dévouement inconditionnel et son soutien indéfectible qui ont été pour moi source de réconfort et d'inspiration durant les moments difficiles que j'ai traversé tout au long de cette aventure scientifique.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à ma mère. Elle s'adresse aussi à la mémoire de mon père. A l'aube de cette nouvelle étape de mon cursus universitaire, j'espère seulement être à la hauteur des sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir.*

*Arfa Azzedine Mohamed Touffik*

*Dédicaces*

# Dédicaces

*Je dédie cette thèse à toutes les personnes que  
j'aime et en particulier :*

*A ma mère qui m'a toujours apporté amour et  
affection*

*A la mémoire de mon père qui restera à jamais  
présent dans mon cœur*

*A ma très chère et tendre épouse Djahida*

*A mes enfants : Rym, Yasmine et*

*Mohamed El Habib*

*A ma sœur Leila et son mari Abdelouahab*

*A mon frère Mohamed Rédha et son épouse Amira*

*A mes neveux :*

*Ramy, Nazim, Abdessalem et Adlene*

*A la mémoire de mes grands parents*

*A mes tantes et oncles*

*A tous mes amis et en particulier :*

*Kheireddine, Adel, Kenzy, Mehdi, Redouane,*

*Foued et Sofiane*

*A tout mes collègues*

*A tous mes enseignants*

*A tous mes étudiants*

*A mon pays que j'aime l'Algérie*

*A tout le peuple Palestinien*

*Arfa Azzedine Mohamed Touffik*

*Liste des  
illustrations*

## Liste des tableaux

Tableau 1. Surface forestière dans les pays méditerranéens .....	05
Tableau 2. Surfaces brûlées par les feux de forêts de plus de 40 hectares dans les pays méditerranéens entre 2008 et 2010 .....	13
Tableau 3. Principales essences des forêts algériennes (2007) .....	18
Tableau 4. Surfaces forestières brûlées en Algérie entre 1881 et 2006 .....	23
Tableau 5. Évaluation des pertes économiques générées par les feux dans le secteur forestier en Algérie entre 1985 et 2006.....	30
Tableau 6. Températures moyennes mensuelles (station El Kala 1985-2005).....	53
Tableau 7. Évolution de la population de la wilaya d'El Tarf entre 1966 et 2008.....	57
Tableau 8. Répartition des emplois selon le secteur d'activité dans la wilaya d'El Tarf .....	59
Tableau 9. Statut juridique des exploitations agricoles (wilaya d'El Tarf).....	60
Tableau 10. Répartition des effectifs par type d'élevage (wilaya d'El Tarf).....	61
Tableau 11. Listes des données nécessaires pour alimenter la base de données spatiale .....	81
Tableau 12. Listes des cartes topographiques couvrant le territoire de la wilaya d'El Tarf .....	86
Tableau 13. Listes des plans des forêts domaniales et sectionales de la wilaya d'El Tarf .....	88
Tableau 14. Les gradients thermiques mensuels de l'extrême Nord Est algérien .....	109
Tableau 15. Détermination des niveaux de risque R relatifs à la distance aux pistes forestières.....	113
Tableau 16. Type de formations forestières de la wilaya d'El Tarf .....	127
Tableau 17. Comparaison entre la surface brûlée et le nombre de feux des formations forestières .....	142
Tableau 18. Classes de risque de départ de feu des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	156
Tableau 19. Classes de risque de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	160
Tableau 20. Classes de risque feux de forêt des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	165

## Liste des cartes

Carte 1. Répartition de la couverture forestière par wilaya en Algérie (2007) .....	19
Carte 2. Répartition des superficies forestières brûlées par wilaya en Algérie (Période 1985-2006) ....	27
Carte 3. Répartition du nombre des feux de forêts par wilaya en Algérie (Période 1985-2006) .....	28
Carte 4. Localisation géographique et découpage administratif de la wilaya d'El Tarf .....	40
Carte 5. Carte et coupes topographiques des principaux ensembles de la wilaya d'El Tarf.....	42
Carte 6. Étages bioclimatiques de la wilaya d'El Tarf (1969-1994) .....	55
Carte 7. Parc National d'El Kala (P.N.E.K.) .....	70
Carte 8. Zoning du Parc National d'El Kala .....	72
Carte 9. Localisation des relevés de végétation effectués sur terrain .....	84
Carte 10. Classes d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf .....	124
Carte 11. Formations forestières de la wilaya d'El Tarf .....	126
Carte 12. Modèle numérique de terrain de la wilaya d'El Tarf .....	128
Carte 13. Réseau de routes et pistes forestières de la wilaya d'El Tarf .....	129
Carte 14. Réseau D.F.C.I. de la wilaya d'El Tarf .....	130
Carte 15. Localisation des départs de feu déclarés entre 1985 et 2012 au niveau de la wilaya d'El Tarf....	131
Carte 16. Classes d'altitude des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf .....	135
Carte 17. Classes de pente des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf .....	136
Carte 18. Classes d'orientation des pentes des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf .....	137
Carte 19. Bilan des feux de forêts par commune (période 1985-2012) .....	148
Carte 20. Risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	156
Carte 21. NDVI des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	158
Carte 22. Biovolume des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	159
Carte 23. Risque de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	160
Carte 24. Risque feux de forêt des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	164
Carte 25. Distribution des points d'eau suivant le risque feux de forêt.....	167
Carte 26. Distribution des Tranchées Pare Feux suivant le risque feux de forêt.....	169
Carte 27. Zones de visibilité des tours de guet suivant le risque feux de forêt.....	170

## Liste des figures

Figure 1. Surface des forêts dans les pays du pourtour de la Méditerranée en 2010.....	04
Figure 2. Tendances de l'évolution des surfaces forestières dans les pays Méditerranéens entre 1990 et 2010.....	06
Figure 3. Sources des données sur les feux de forêts pour la période 2000–2010.....	07
Figure 4. Disponibilité des données pour plusieurs variables sur les feux de forêts entre 2000 et 2010	08
Figure 5. Pays dans les différentes zones de la région méditerranéenne (Est, Ouest et Sud) .....	08
Figure 6. Distribution des feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006–2010.....	09
Figure 7. Nombre total de feux de forêts dans les pays du pourtour de la Méditerranée avec une série complète de données pour la période 2006–2010 .....	09
Figure 8. Densité des feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006-2010 .....	10
Figure 9. Surface annuelle brûlée (compris autres terres boisées et terres agricoles) dans la région méditerranéenne pour la période 2006–2010 (ha/an/10 km <sup>2</sup> ) .....	11
Figure 10. Surface totale brûlée (y compris autres terres boisées et terres agricoles) dans les pays méditerranéens ayant fournis des séries complètes de données pour la période 2006–2010 (à gauche). Surface totale de forêts brûlées dans les pays méditerranéens ayant fournis des séries complètes de données pour la période 2006–2010 (à droite) .....	11
Figure 11. Surfaces annuelles brûlées pour 12 pays méditerranéens avec données complètes pour 2000–2010 .....	12
Figure 12. Répartition des surfaces brûlées par les feux de forêts entre 2008 et 2010 .....	14
Figure 13. Taille moyenne des feux de forêts dans les pays méditerranéens période 2000-2010 .....	15
Figure 14. Causes des feux de forêts rapportées par cinq pays de la région méditerranéenne en 2010 ..	16
Figure 15. Répartition de la superficie forestière par wilaya en Algérie (2007) .....	20
Figure 16. Evolution des superficies forestières brûlées en Algérie de 1881 à 2006 .....	24
Figure 17. Les superficies brûlées par formations végétales et type d'essences en Algérie de 1985 à 2006 .....	25
Figure 18. Taille moyenne des feux de forêts en Algérie de 1985 à 2006 .....	26
Figure 19. Cause des feux de forêts en Algérie de 1985 à 2006 .....	29

Figure 20. Variation des précipitations annuelles des stations Ain El Assel et El Kala .....	52
Figure 21. Précipitations moyennes mensuelles des stations Ain El Assel et El Kala .....	52
Figure 22. Du concept général de « situations à risques » aux spécifications du risque feu de forêt : modèle initial .....	77
Figure 23. Modèle conceptuel de la géodatabase du système spatial risque feu de forêt .....	80
Figure 24. Exemples de correction des limites spatiales des formations forestières .....	83
Figure 25. Exemples de découpage des massifs forestiers en zones homogènes .....	85
Figure 26. Numérisation et géoréférencement des cartes topographiques de la wilaya d'El Tarf .....	87
Figure 27. Numérisation et géoréférencement des plans des forêts domaniales (wilaya d'El Tarf) .....	89
Figure 28. Système d'imagerie spatiale à très haute résolution Pléiades .....	91
Figure 29. Dates des images satellites Pléiades utilisées dans Google Earth .....	91
Figure 30. Vectorisation des maisons rurales et fermes dans Google Earth .....	92
Figure 31. Vectorisation du lac, du sable, de la végétation et de l'agriculture dans Google Earth .....	93
Figure 32. Répartition des lieudits des départs de feux par communes, forêts et cantons .....	95
Figure 33. Vectorisation des routes de la wilaya d'El Tarf dans Google Earth .....	96
Figure 34. Vectorisation et classification des pistes forestières dans Google Earth .....	96
Figure 35. Vectorisation des tranchées pare-feu dans Google Earth .....	97
Figure 36. Vectorisation des points d'eau et tours de guet dans Google Earth .....	98
Figure 37. Du modèle conceptuel de données à la géodatabase .....	99
Figure 38. Géodatabase "Gestion des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf" .....	101
Figure 39. Jeu de classes d'entités "Occupation du sol" .....	101
Figure 40. Classe d'entités "Végétation" (partie géométrique et topologique) .....	102
Figure 41. Classe d'entités "Végétation" (partie attributaire) .....	103
Figure 42. Métadonnées de la classe d'entités "Végétation" .....	104
Figure 43. Système d'Information Géographique et niveaux d'information spatiale .....	106
Figure 44. Modèle de calcul des paramètres topographique des massifs forestiers .....	107

Figure 45. Modèle d'analyse des paramètres topographique des feux de forêts .....	108
Figure 46. Modèle d'analyse des départs de feux suivant les formations forestières .....	108
Figure 47. Modèle d'analyse des feux de forêts suivant les communes .....	110
Figure 48. Modèle d'analyse des feux de forêt en fonction des routes et pistes forestières.....	110
Figure 49. Modèle d'analyse des feux de forêt suivant l'occupation humaine.....	111
Figure 50. Modèle de calcul de l'indice de départ de feux IDF des forêts de la wilaya d'El Tarf.....	114
Figure 51. Système d'imagerie spatiale à très haute résolution Sentinel-2.....	117
Figure 52. Tuiles d'images Sentinel-2A couvrant la wilaya d'El Tarf du 30/03/2016.....	118
Figure 53. Échelle d'équivalence entre les valeurs de l'NDVI et du biovolume.....	120
Figure 54. Modèle de calcul de l'indice de combustibilité IC des forêts de la wilaya d'El Tarf.....	121
Figure 55. Modèle de calcul de l'indice de risque feux de forêt IRF de la wilaya d'El Tarf.....	122
Figure 56. Modèle d'analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feux de forêt.....	123
Figure 57. Fréquence horaire des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012) .....	132
Figure 58. Fréquence mensuelle des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012) .....	133
Figure 59. Fréquence annuelle des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012) .....	134
Figure 60 : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de l'altitude .....	138
Figure 61 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de l'altitude .....	138
Figure 62 : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de la pente .....	139
Figure 63 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de la pente .....	139
Figure 64 : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de l'orientation des pentes .....	140
Figure 65 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de l'orientation des pentes .....	140
Figure 66 : Répartition des surfaces brûlées par type de formations forestières .....	141
Figure 67 : Répartition du nombre de feux par type de formations forestières .....	141
Figure 68 : Répartition du nombre de feux en fonction des températures maximales .....	144
Figure 69 : Répartition des surfaces brûlées en fonction des températures maximales .....	144
Figure 70 : Répartition du nombre de feux en fonction du taux d'humidité de l'air .....	145

Figure 71 : Répartition des surfaces brûlées en fonction du taux d'humidité de l'air .....	145
Figure 72 : Répartition des surfaces moyennes brûlées par feu en fonction du taux d'humidité de l'air.....	146
Figure 73 : Répartition du nombre de feux en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu .....	146
Figure 74 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu .....	147
Figure 75 : Surfaces moyennes brûlées par feu en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu .....	147
Figure 76 : Pourcentage des surfaces brûlées par rapport aux surfaces forestières par communes .....	149
Figure 77 : Répartition des surfaces moyennes brûlées par feu et par communes .....	150
Figure 78 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des routes.....	150
Figure 79 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des pistes forestières.....	151
Figure 80 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des villages.....	152
Figure 81 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des maisons rurales éparses.....	152
Figure 82 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des fermes isolées.....	153
Figure 83 : Image satellite QuickBird du 20-08-2010 (Google Earth) .....	154
Figure 84 : Distribution spatiale des feux de forêt en fonction de l'agriculture.....	155
Figure 85 : Répartition du nombre de feux entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IDF.....	157
Figure 86 : Comparaison entre l'NDVI et le biovolume estimés sur terrain.....	159
Figure 87 : Risque de combustibilité des formations forestières de la wilaya d'El Tarf.....	162
Figure 88 : Répartition des surfaces brûlées entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IC.....	163
Figure 89 : Répartition du nombre de feux et des surfaces brûlées entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IRF.....	165
Figure 90 : Répartition des points d'eau suivant les classes de risque feux de forêt.....	167
Figure 91 : Répartition des tranchées pare feu suivant les classes de risque feux de forêt.....	168
Figure 92 : Pourcentage de visibilité des tours de guet des classes de risque feux de forêt.....	171
Figure 93 : Longueur et état des pistes forestières suivant les classes de risque feux de forêt.....	172

## Liste des photos

Photo 1. Lac Tonga .....	48
Photo 2. Lac Oubeira .....	48
Photo 3. Lac Mellah .....	49
Photo 4. Lac Bleu .....	50
Photo 5. Subéraie (forêt domaniale Ghourrah, canton Ghourrah) .....	63
Photo 6. Oléo-lentisque (forêt domaniale Bouabed, canton El Hamra) .....	64
Photo 7. Futaie de chêne zéen (forêt domaniale Ghourrah, canton Ghourrah) .....	65
Photo 8. Reboisement de pin maritime (pineraie du Tonga) .....	66
Photo 9. Maquis de chêne kermès (forêt domaniale El Kala, canton les dunes) .....	67
Photo 10. Eucalyptus (forêt domaniale El Kala, canton Boumalek) .....	68
Photo 11. Station du cyprès chauve (lac Tonga) .....	69
Photo 12. Acacia (forêt domaniale El Kala, canton Boumalek) .....	69

# *Sommaire*

# Sommaire

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES CARTES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

INTRODUCTION ..... 01

**CHAPITRE I. Contexte de l'étude et état de l'art ..... 03**

I.1. État des ressources forestières dans la région méditerranéenne ..... 03

I.1.1. Les surfaces forestières en Méditerranée ..... 04

I.1.2. Les feux de forêts en Méditerranée ..... 06

I.1.2.1. Nombres de feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006-2010 ..... 09

I.1.2.2. Surfaces brûlées dans la région méditerranéenne pour la période 2006–2010 ..... 10

I.1.2.3. Taille moyenne des feux de forêts dans la région méditerranéenne (2000-2010) ..... 14

I.1.2.4. Causes des feux de forêts dans le pourtour de la Méditerranée ..... 16

I.2. État des ressources forestières en Algérie ..... 17

I.2.1. Les surfaces forestières en Algérie ..... 18

I.2.2. Rôles de la forêt algérienne ..... 20

I.2.2.1. Rôle de protection et de loisirs ..... 20

I.2.2.2. Rôle de production..... 21

I.2.3. Causes de dégradation de la forêt algérienne ..... 21

I.2.4. Les feux de forêts en Algérie de 1881 à 2006 ..... 22

I.2.5. Bilan des feux de forêts en Algérie entre 1985 et 2006 ..... 25

I.2.5.1. Bilan des feux de forêts suivant les formations végétales et types d'essences ..... 25

I.2.5.2. Taille moyenne des feux de forêts en Algérie ..... 26

I.2.5.3. Bilan des feux de forêts par wilaya .....	26
I.2.5.4. Causes des feux de forêts en Algérie .....	29
I.2.5.5. Impact économique des feux de forêts en Algérie .....	29
I.3. État de l'art .....	31
I.3.1. État de la recherche dans le monde .....	31
I.3.1.1. Les feux de forêts et la télédétection .....	31
I.3.1.2. Les feux de forêts et les SIG .....	32
I.3.1.3. Relation entre feux de forêts, climat et topographie .....	32
I.3.1.4. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques .....	32
I.3.2. État de la recherche dans la région méditerranéenne .....	33
I.3.2.1. Recherche sur l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation .....	33
I.3.2.2. Bilans et statistiques des feux de forêts .....	33
I.3.2.3. Les feux de forêts et la télédétection .....	34
I.3.2.4. Les feux de forêts et les SIG .....	35
I.3.2.5. Relation entre feux de forêts et climat .....	37
I.3.2.6. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques .....	37
I.3.3. État de la recherche en Algérie .....	38
I.3.3.1. Recherche sur l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation .....	38
I.3.3.2. Bilans et statistiques des feux de forêts .....	38
I.3.3.3. Télédétection et SIG .....	39
I.3.3.4. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques .....	39

CHAPITRE II. Éco-géographie de la wilaya d'El Tarf .....	40
--	----

II.1. Situation géographique .....	40
II.2. Les grands traits du cadre physique .....	41
II.2.1. Topomorphologie .....	41
II.2.2. Principaux ensembles topographiques .....	41

II.2.2.1. L'ensemble de la plaine de Ben M'Hidi et ses vallées affluentes .....	43
II.2.2.2. L'ensemble montagneux .....	44
II.2.2.3. L'ensemble collinaire et des bas reliefs frontaliers .....	44
II.2.3. Géologie .....	45
II.2.4. Lithologie et sols .....	46
II.2.5. Réseau hydrographique .....	46
II.2.5.1. Les oueds .....	47
II.2.5.2. Les lacs et marais .....	47
II.2.5.3. Les barrages et retenues collinaires .....	51
II.3. Conditions climatiques et bioclimatiques .....	51
II.3.1. Pluviométrie .....	51
II.3.2. Humidité relative de l'air .....	53
II.3.3. Températures .....	53
II.3.4. Vents .....	54
II.3.5. Étages bioclimatiques .....	54
II.3.5.1. Étage bioclimatique humide .....	54
II.3.5.2. Étage bioclimatique subhumide .....	55
II.4. Contexte démographique, économique et social .....	56
II.4.1. Données démographiques .....	56
II.4.1.1. Évolution de la population de 1966 à 2008 .....	56
II.4.1.2. Densité de la population .....	57
II.4.2. Typologie des logements .....	58
II.4.3. Population active et chômage .....	58
II.4.4. Emploi dans les grands secteurs .....	58
II.4.5. Secteur agricole .....	59
II.4.5.1. Occupation générale des terres agricoles .....	59
II.4.5.2. Structures foncières .....	60
II.4.5.3. Élevage du grand cheptel .....	61

II.5. Formations forestières de la wilaya d'El Tarf .....	62
II.5.1. Chêne liège .....	62
II.5.2. Olivier et lentisque .....	63
II.5.3. Chêne zéen .....	65
II.5.4. Pin maritime .....	66
II.5.5. Chêne kermès .....	67
II.5.6. Pin d'Alep du Mellah .....	68
II.5.7. Essences introduites dans la wilaya d'El Tarf .....	68
II.6. Parc National d'El Kala (P.N.E.K.) .....	70
II.6.1. Présentation et localisation .....	70
II.6.2. Zonage et modalités d'intervention .....	71
II.6.2.1. Zones et sous-zones de la classe 1 (zone de réserve intégrale) .....	71
II.6.2.2. Zones et sous-zones de la classe 2 (zone primitive ou sauvage) .....	72
II.6.2.3. Zones et sous-zones de la classe 3 (zone à faible croissance) .....	73
II.6.2.4. Zones et sous-zones de la classe 4 (zone tampon) .....	73
II.6.2.5. Zones et sous-zones de la classe 5 (zone périphérique) .....	73
II.7. Principales causes de dégradation des forêts de la wilaya d'El Tarf .....	74
II.7.1. Les feux de forêts .....	74
II.7.2. Les ravageurs .....	74
II.7.3. Les défrichements .....	74
II.7.4. Le surpâturage .....	75
II.7.5. L'exploitation forestière .....	75
II.7.6. Les activités d'extraction .....	75
II.7.7. L'urbanisation .....	75
<b>CHAPITRE III. Approches méthodologiques : modélisations et outils .....</b>	<b>76</b>

III.1. Du concept de « situation à risques » à sa modélisation en SIG .....	76
---	----

III.1.1. Définition du concept « situation à risques » .....	76
III.1.2. Pour gérer le risque dans l'espace, modéliser le risque en tant que système spatial .....	77
III.1.3. Modèle conceptuel de données de la situation à risque feu de forêt .....	79
III.2. Construction de la Base de Données Géographique .....	81
III.2.1. Données initiales .....	81
III.2.2. Acquisition, évaluation et intégration des données .....	82
III.2.2.1. Examen, correction et mise à jour des données disponibles .....	82
III.2.2.2. Création des données non disponibles .....	90
III.2.3. Structuration de la base de données géographique. ....	98
III.2.3.1. Le passage du modèle conceptuel de données à la géodatabase .....	99
III.2.3.2. La géodatabase : principe et schéma .....	100
III.3. Produits SIG pour une bonne gestion des feux de forêts .....	105
III.3.1. Inventaire spatial : Cartes descriptives de base .....	106
III.3.2. Analyse spatiale : Cartes synthétiques et typologiques .....	107
III.3.2.1. Analyse temporelle des feux de forêts pour la période 1985-2012 .....	107
III.3.2.2. Étude topographique des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf .....	107
III.3.2.3. Analyse topographique des feux de forêts entre 1985 et 2012 .....	108
III.3.2.4. Analyse des feux de forêts en fonction des formations forestières .....	108
III.3.2.5. Étude météorologique des feux de forêts .....	109
III.3.2.6. Analyse spatiale des feux de forêts suivant les communes .....	110
III.3.2.7. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières.....	110
III.3.2.8. Analyse spatiale des feux de forêt suivant l'occupation humaine.....	111
III.3.3. Requêtes spatiales et attributaires.....	111
III.3.3.1. Modélisation du risque de départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	112
III.3.3.2. Modélisation de la combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	115
III.3.3.3. Modélisation du risque feux de forêt de la wilaya d'El Tarf.....	121
III.3.3.4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt.....	123

IV.1. Inventaire spatial : Cartes descriptives de base .....	124
IV.1.1. Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf .....	124
IV.1.2. Carte des formations forestières de la wilaya d'El Tarf .....	125
IV.1.3. Modèle numérique de terrain de la wilaya d'El Tarf .....	128
IV.1.4. Réseau de routes et pistes forestières de la wilaya d'El Tarf .....	129
IV.1.5. Réseau D.F.C.I. (Défense des Forêts Contre les Incendies) de la wilaya d'El Tarf .....	130
IV.1.6. Localisation des départs de feux déclarés au niveau des forêts de la wilaya d'El Tarf entre 1985 et 2012.	131
IV.2. Analyse spatiale : Cartes synthétiques et typologiques .....	132
IV.2.1. Analyse temporelle des feux de forêts pour la période 1985-2012 .....	132
IV.2.1.1. Fréquence horaire des feux de forêts .....	132
IV.2.1.2. Fréquence mensuelle des feux de forêts .....	133
IV.2.1.3. Fréquence annuelle des feux de forêts .....	133
IV.2.2. Étude topographique des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf .....	135
IV.2.2.1. Classes d'altitude des massifs forestiers .....	135
IV.2.2.2. Classes de pente des massifs forestiers .....	135
IV.2.2.3. Classes d'orientation des pentes des massifs forestiers .....	136
IV.2.3. Analyse topographique des feux de forêts entre 1985 et 2012 .....	137
IV.2.3.1. Classes d'altitude des feux de forêts .....	137
IV.2.3.2. Classes de pente des feux de forêts .....	139
IV.2.3.3. Classes d'orientation des pentes des feux de forêts .....	140
IV.2.4. Analyse des feux de forêts en fonction des formations forestières .....	141
IV.2.5. Étude météorologique des feux de forêts .....	143
IV.2.5.1. Relation entre la température maximale et les feux de forêts .....	143
IV.2.5.2. Relation entre le taux d'humidité de l'air et les feux de forêts .....	145
IV.2.5.3. Relation entre la vitesse maximale de vent soutenu et les feux de forêts .....	146
IV.2.6. Analyse spatiale des feux de forêts suivant les communes .....	148

IV.2.7. Analyse spatiale des feux de forêt en fonction du réseau de routes et pistes forestières.....	150
IV.2.8. Analyse spatiale des feux de forêt suivant l'occupation humaine .....	151
IV.2.8.1. Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des interfaces forêt/habitat.....	151
IV.2.8.2. Distribution spatiale des feux de forêt en fonction des interfaces forêt/agriculture.....	155
IV.3. Requêtes spatiales et attributaires.....	156
IV.3.1. Carte de risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	156
IV.3.2. Carte de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.....	158
IV.3.2.1. Analyse du risque de combustibilité des différentes formations forestières.....	161
IV.3.2.2. Comparaison entre la carte de risque de combustibilité et la réalité du terrain.....	163
IV.3.3. Carte de risque feux de forêt de la wilaya d'El Tarf.....	164
IV.3.4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt.....	166
IV.3.4.1. Analyse de l'efficacité des points d'eau face au risque feu de forêt.....	166
IV.3.4.2. Analyse de l'efficacité des tranchées par feu (TPF) face au risque feu de forêt.....	168
IV.3.4.3. Analyse de l'efficacité des tours de guet face au risque feu de forêt.....	169
IV.3.4.4. Analyse de l'efficacité des pistes forestières face au risque feu de forêt.....	171
IV.4. Propositions et recommandations pour une meilleure gestion des feux de forêt dans la wilaya d'El Tarf....	172
CONCLUSION & PERSPECTIVES .....	174
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	176

## RÉSUMÉ

*« Toute réflexion sur le risque, la vulnérabilité, les situations à risques reste lettre morte si des outils ne permettent pas de rendre opérationnelles les avancées conceptuelles du monde scientifique. En contrepartie, la mise en place de supports techniques d'aide à la décision, en concertation avec les acteurs qui, au quotidien sont chargés de la gestion des risques, permet de faire progresser la réflexion et la connaissance du risque et de la vulnérabilité pour un territoire donné ».*

(Di Mauro et Bouchon, 2006)

# *Introduction*

## Introduction

En Algérie, chaque année plus de 36.000 hectares de forêts sont détruits par les feux. Les pertes économiques dans le secteur forestier générées par ces feux entre 1985 et 2006 se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens. Cette évaluation financière ne prend en compte que la valeur marchande des produits perdus (bois, liège, broussailles, alfa, arboriculture...), sans tenir compte des dépenses annuelles pour la lutte. De plus, il faut ajouter à cela une perte à long terme de la biodiversité et de l'équilibre des écosystèmes forestiers qui reste difficile à chiffrer (Arfa *et al.* 2009). La prévention et la détection précoce constituent les seuls moyens de réduire le coût des dégâts causés.

Ces dernières années, les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'informations liées aux feux de forêts intégrées dans un système d'information géographique, se sont avérées comme une option fiable de suivi des urgences, d'identification des zones à risques et de cartographie de l'étendue des feux.

La politique forestière pratiquée en Algérie commence à s'inspirer de l'expérience des pays avancés dans le domaine, et à prendre en considération les innovations scientifiques en matière de gestion et protection du patrimoine forestier. Les cartes réalisées, de manière traditionnelle, ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de systèmes capables de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les SIG (Systèmes d'information géographique) et la télédétection sont devenus des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques comme les feux de forêts et permettent de disposer d'arguments valables pour la prise de décisions.

A travers cette étude nous cherchons, à partir de l'intégration de données multi sources, à créer une base de données géographique nécessaire à l'analyse et à la cartographie des secteurs exposés au risque feu de forêt pour faciliter et améliorer leurs gestions.

L'expérience SIG à été menée au niveau de l'ensemble des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, en raison de son fort taux de recouvrement, avec plus de 57%, de la présence du parc national d'El Kala réserve de la biosphère et de l'importante pression anthropique exercée sur ces milieux par la population locale.

Notre travail vise, par conséquent, à répondre aux questions suivantes :

- ▶ Peut-on créer de l'information géographique même en l'absence de données sources ?
- ▶ Quelles sont les méthodes et outils qui permettent la création de ces informations géographiques ?
- ▶ Peut-on réaliser une analyse spatiotemporelle des départs de feux sur une longue période et à une échelle spatiale très fine ?
- ▶ Comment identifier et caractériser les secteurs exposés au risque feu de forêt ?
  - quelles sont les zones présentant un risque élevé de départ de feu ?
  - quelles sont les zones présentant un risque important en termes de combustibilité et de propagation du feu ?
  - le réseau DFCI (Défense des Forêts Contre les Incendies) est-il réellement efficace face au risque feu de forêt ?
- ▶ Comment intégrer le facteur anthropique dans la gestion du risque feu de forêt ?
- ▶ Quels sont les apports de la géomatique et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts ?

Cette thèse s'organise en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons dans un premier temps le contexte de l'étude des feux de forêts, dans le bassin méditerranéen en général et en Algérie en particulier, et dans un second temps, nous abordons l'état de la recherche sur l'étude des feux de forêts au niveau mondial, méditerranéen et algérien.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude géographique, socioéconomique et écologique de la zone d'étude (wilaya d'El Tarf).

Le troisième chapitre aborde les questions méthodologiques en détaillant les différentes approches, techniques et outils utilisées pour la création, l'analyse et le traitement des données relatives à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf.

Le dernier chapitre présente les différents résultats obtenus et leurs discussions accompagnés de propositions et recommandations pour une meilleure gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf.

# *Chapitre II*

*Contexte de l'étude*

*et état de l'art*

## Chapitre I : Contexte de l'étude et état de l'art

### I.1. État des ressources forestières dans la région méditerranéenne

Les forêts ont toujours jouées un rôle important dans le développement des populations méditerranéennes. Depuis toujours les forêts méditerranéennes ont été exploitées pour leurs différents usages et appréciées pour les multiples biens et services qu'elles procurent à ces populations. Cependant, la surexploitation se traduit par des impacts négatifs sur l'environnement et est responsable aujourd'hui de la dégradation des forêts dans de nombreux espaces méditerranéens.

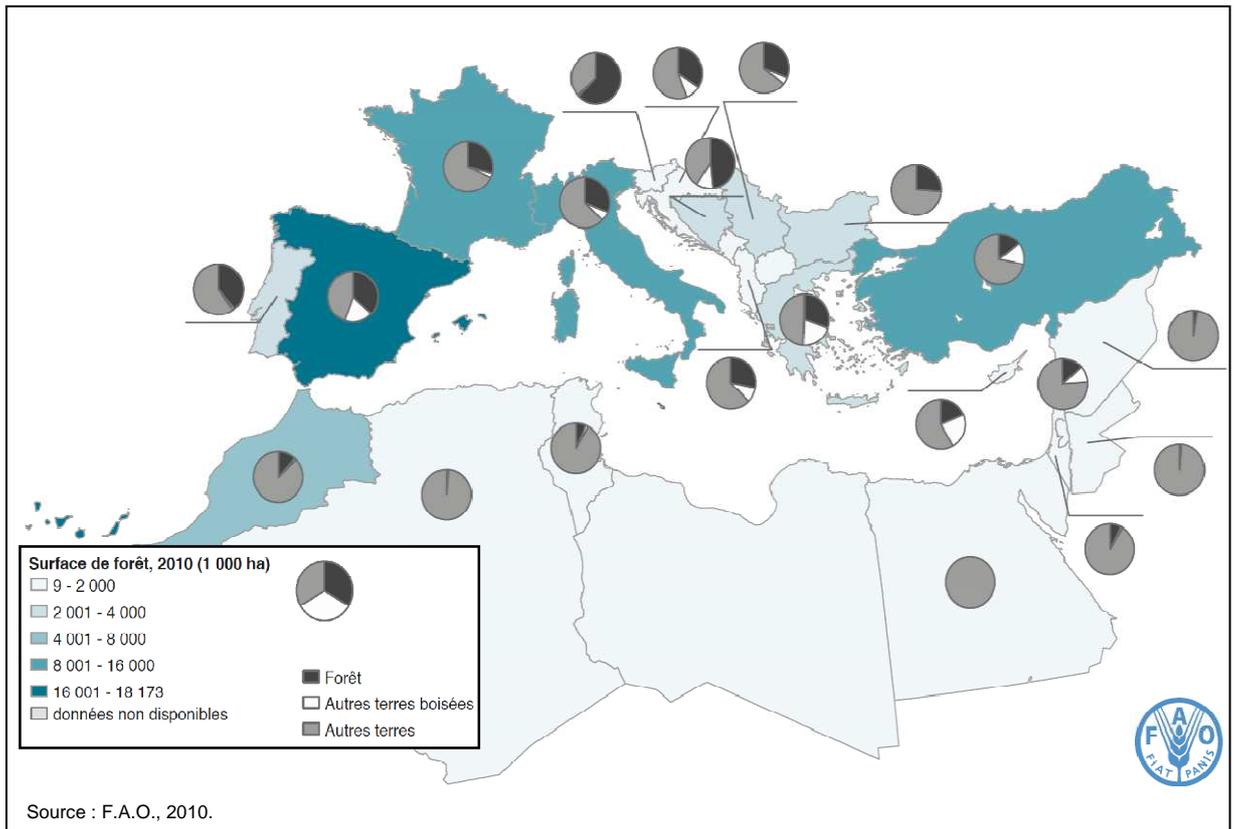
Des situations différentes caractérisent la région méditerranéenne : au Nord, les écosystèmes forestiers sont souvent inexploités, alors qu'au Sud et à l'Est, les pressions anthropiques contribuent à la dégradation des espaces boisés. Ces situations contrastées accroissent les menaces sur les bénéfices que les forêts procurent aux populations et elles requièrent de nouvelles stratégies pour gérer durablement ces écosystèmes fragiles.

Les forêts méditerranéennes et autres espaces boisés (*macchia*, *maquis* ou *dehesas*) sont des écosystèmes communs à basse altitude dans les étages bioclimatiques thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen. Aux plus hautes altitudes, des types de forêts complètement différents colonisent les étages supra-méditerranéen, montagnard-méditerranéen et oroméditerranéen (Quézel, 1985). En fait, lorsque l'altitude augmente, les forêts sont constituées non seulement d'espèces endémiques méditerranéennes mais également d'espèces originaires d'autres régions du continent européen (*Fagus sylvatica* et *Castanea sativa* avec e.g. *Pinus nigra*, *Pinus leucodermis*, *Pinus sylvestris*, *Abies alba* et *Cedrus sp.*) (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2000).

Les forêts méditerranéennes typiques sont formées par des espèces feuillues (principalement chênes), aussi bien à feuilles persistantes qu'à feuilles caduques, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus toza*, *Quercus calliprinos*, *Quercus ithaburensis*, et conifères comme *Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster* et *Juniperus*. La dégradation de ces forêts a produit une végétation à faible densité : le maquis et la garrigue. Là où il n'y a pas de stress hydrique, les forêts de *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Fraxinus sp.*, *Populus alba* et *Pinus nigra* peuvent prospérer.

### I.1.1. Les surfaces forestières en Méditerranée

En 2010, la surface forestière des pays méditerranéens s'élevait à 85 millions d'hectares, représentant environ deux pour cent de la surface forestière mondiale (4033 millions d'hectares, F.A.O., 2010). Les surfaces forestières sont inégalement distribuées autour du bassin méditerranéen avec des différences significatives entre les pays (Figure 1).



**Figure 1.** Surface des forêts dans les pays du pourtour de la Méditerranée en 2010.

Plus de 50 pour cent des surfaces forestières, sont concentrées en Espagne, en France et en Turquie. Les autres terres boisées représentent seulement 3,73 pour cent de la surface totale des terres dans les pays du pourtour de la Méditerranée. Comme les conditions climatiques et édaphiques du Sud de la Méditerranée favorisent la végétation buissonnante, les autres terres boisées représentent respectivement 20 pour cent, 19 pour cent et 13 pour cent de la surface totale en Grèce, en Espagne et en Turquie (Tableau 1).

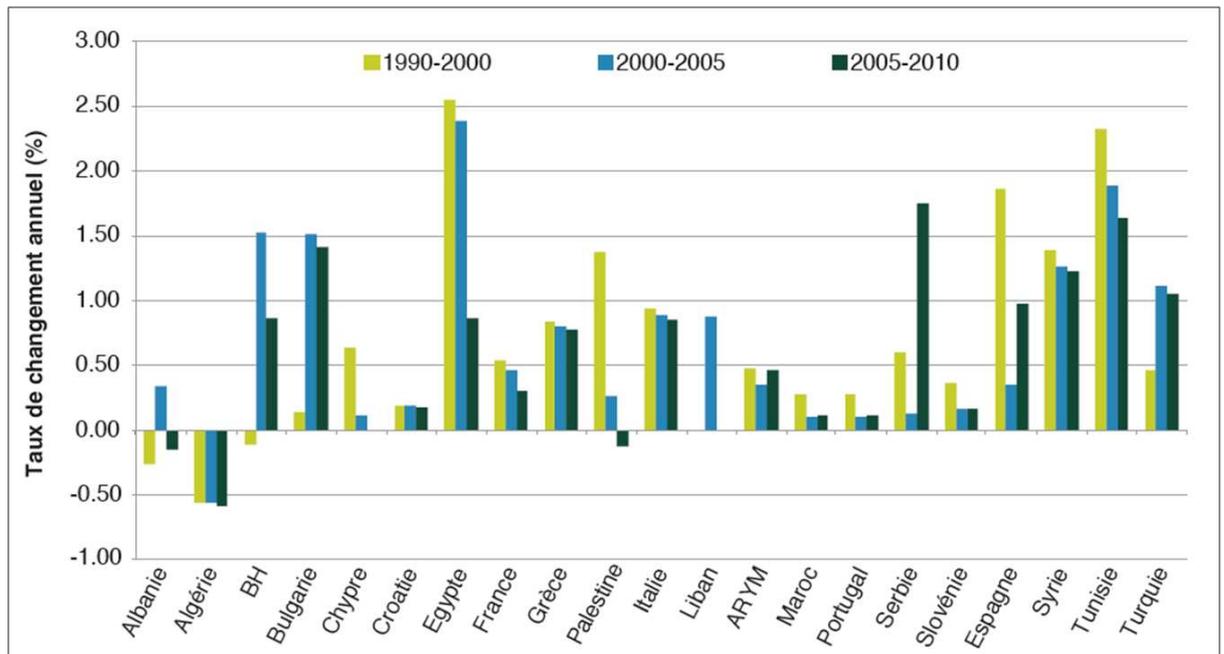
**Tableau 1.** Surface forestière dans les pays méditerranéens

Pays	Surface totale (1000 ha)	Forêts		Autres terres boisées		Autres terres		% de la surface totale de forêts dans les pays méditerranéens
		1000 ha	% de la surface totale	1000 ha	% de la surface totale	1000 ha	% de la surface totale	
Espagne	49919	18173	36	9574	19	22171	44	21
France	55010	15954	29	1618	3	37438	68	19
Turquie	76963	11334	15	10368	13	55261	72	13
Italie	29411	9149	31	1767	6	18495	63	11
Maroc	44630	5131	11	631	1	38868	87	6
Bulgarie	10864	3927	36	0	0	6937	64	4.6
Grèce	12890	3903	30	2636	20	6351	49	4.6
Portugal	9068	3456	38	155	2	5457	60	4.1
Serbie	8746	2713	31	410	5	5623	64	3.2
Bosnie-Herzégovine	5120	2185	43	549	11	2368	46	2.6
Croatie	5592	1920	34	554	10	3118	56	2.3
Algérie	238174	1492	1	2685	1	233997	98	1.8
Slovénie	2014	1253	62	21	1	740	37	1.5
Tunisie	15536	1006	6	300	2	14230	92	1.2
ARYM	2543	998	39	143	6	1402	55	1.2
Albanie	2740	776	28	255	9	1709	62	0.9
Syrie	18378	491	3	35	0.002	17852	97	0.6
Monténégro	1382	467	34	277	20	627	45	0.5
Libye	175954	217	0.001	330	0.002	175407	100	0.3
Chypre	924	173	19	214	23	537	58	0.2
Palestine	2164	154	7	33	2	1977	91	0.2
Liban	1023	137	13	106	10	780	76	0.2
Jordanie	8824	98	1	51	1	8676	98	0.1
Egypte	99545	70	0.0007	20	0.0002	99455	100	0.1
Autres	686	25	4	0	0	661	96	0.1
<b>Total</b>	<b>878100</b>	<b>85202</b>	<b>9.70</b>	<b>32732</b>	<b>3.73</b>	<b>760137</b>	<b>86.57</b>	<b>100</b>

**Note** : ARYM = Ancienne République Yougoslave de Macédoine; Syrie = République arabe syrienne.

Autres pays = Andorre, Gibraltar, Le Vatican, Malte, Monaco et Saint- Marin. Source : F.A.O., 2010.

Au cours des vingt dernières années, les surfaces forestières dans les pays du pourtour de la Méditerranée ont augmenté de près de 12 millions d'hectares. En moyenne elles se sont accrues de 0,68 pour cent par an. A l'exception de l'Albanie, de l'Algérie, de la Palestine et de la Bosnie-Herzégovine qui présentent des épisodes de diminutions du couvert forestier (F.A.O., 2010) les pays du pourtour de la Méditerranée ont continuellement accru leurs surfaces forestières (Figure 2). Ces changements sont principalement liés à l'accroissement naturel des forêts, aux boisements et aux reboisements.



Note : ARYM = Ancienne République Yougoslave de Macédoine; BH = Bosnie-Herzégovine; Syrie = République arabe syrienne. Source : F.A.O., 2010.

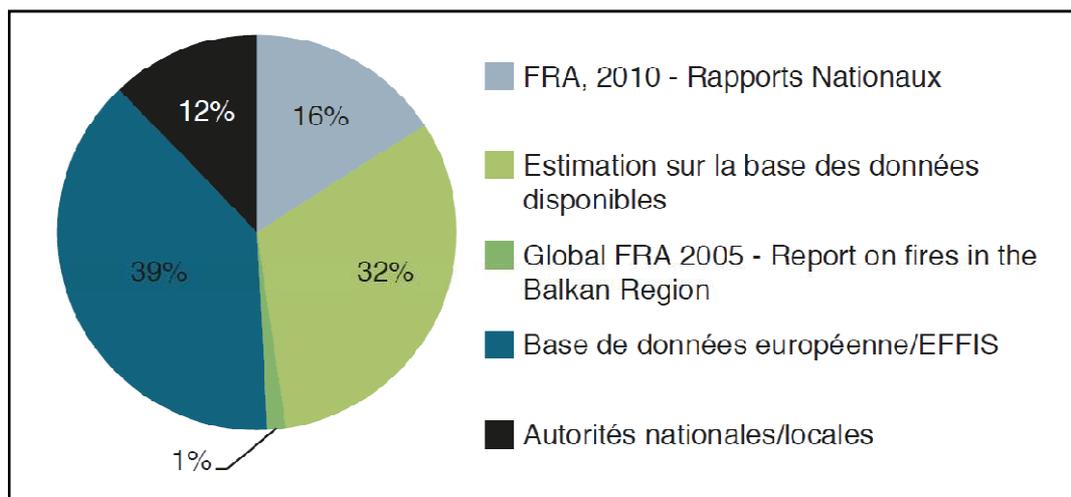
**Figure 2.** Tendances de l'évolution des surfaces forestières dans les pays Méditerranéens entre 1990 et 2010.

### I.1.2. Les feux de forêts en Méditerranée

Les feux causent d'importantes dégradations dans la région méditerranéenne. Depuis des millénaires les activités humaines dans les territoires méditerranéens ont modifié les dynamiques naturelles des feux et la capacité de la végétation à répondre à cette perturbation (résilience). Les conditions climatiques jouent également un rôle important : l'humidité contenue dans la litière est affectée par une saison chaude et sèche prolongée (de juin à fin octobre) avec des températures moyennes journalières de 30°C, peu de précipitations, et des vents caractérisés par une grande vitesse et un fort pouvoir de dessiccation. Le changement climatique peut se traduire par des événements climatiques extrêmes de grandes amplitudes (sécheresse et vague de chaleur) accentuant les menaces liées aux feux de forêts (F.A.O., 2007).

Dans la région méditerranéenne, des séries de données sur le long terme sont disponibles pour la France, la Grèce, l'Italie, le Portugal et l'Espagne alors que la situation dans les autres pays méditerranéens est souvent analysée séparément à cause de la disparité des données. Le Système Européen d'Information sur les Feux de Forêts (EFFIS), mis en place par le Centre Commun de Recherche et la Direction Générale de l'Environnement de la

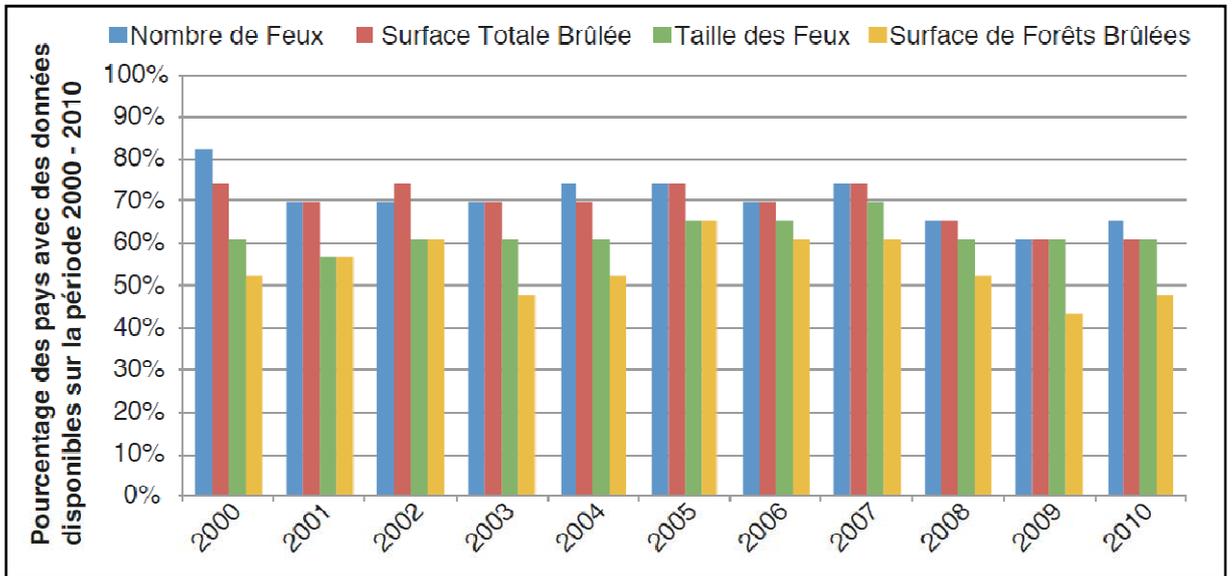
Commission Européenne pour améliorer la gestion des feux de forêts en Europe, est la principale source de données harmonisées sur les feux de forêts en Europe. Ces bases de données reposent sur des informations envoyées volontairement par les pays membres d'EFFIS. Depuis 2010, EFFIS a aussi intégré les pays du Nord de l'Afrique dans les cartes traitant les zones brûlées et le suivi des risques de feux de forêts. Cette intégration constitue une étape vers une extension d'EFFIS aux pays méditerranéens non Européens dans le cadre de la collaboration entre la Commission Européenne et le Comité de la F.A.O. sur les Questions Forestières Méditerranéennes *Silva Mediterranea*. Du fait de leur récente inclusion dans EFFIS, les données, pour les pays d'Afrique du Nord et du Proche Orient, proviennent essentiellement des représentants nationaux. D'autres données ont été collectées dans les rapports nationaux réalisés par les différents pays pour l'évaluation des ressources forestières mondiales 2010 (F.A.O., 2010) et 2006 (F.A.O., 2006a et b) ainsi que d'autres sources citées dans la Figure 3.



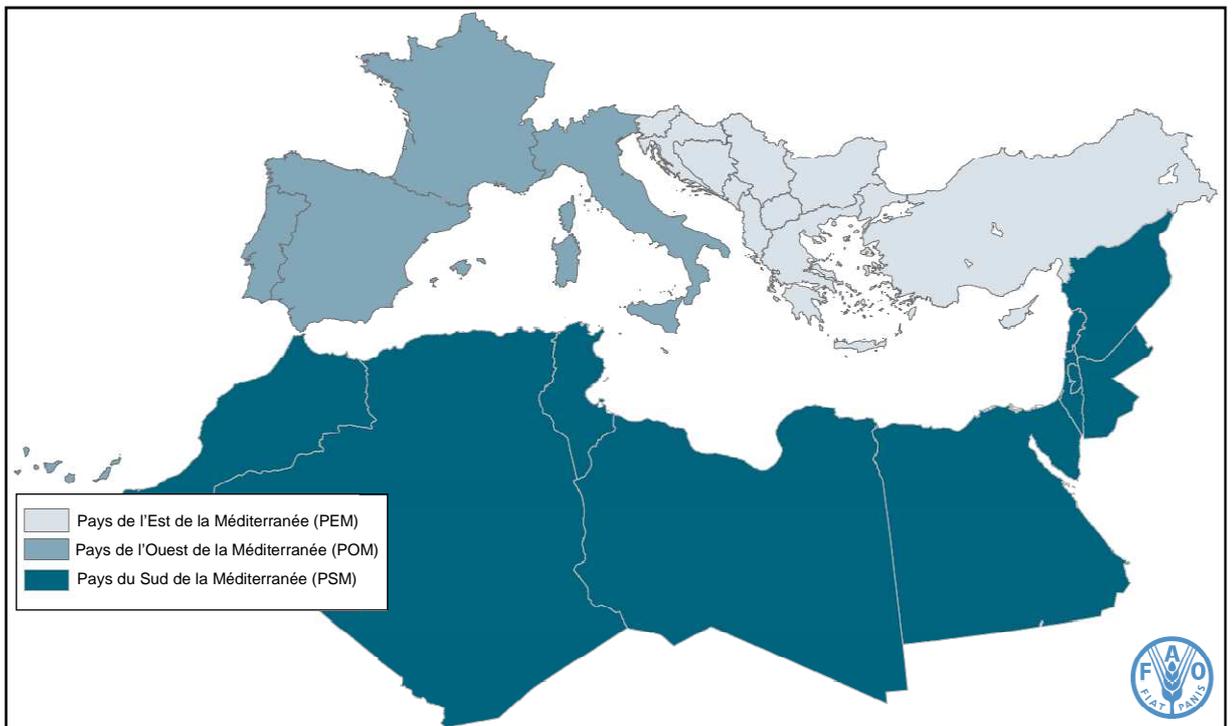
**Figure 3.** Sources des données sur les feux de forêts pour la période 2000–2010.

Considérant la longueur des séries homogènes de données disponibles pour certains pays, la période analysée est 2000-2010, avec une attention particulière pour la période 2006-2010. La Figure 4 montre les données disponibles pour plusieurs variables clés pour la période 2000–2010. Pour analyser la distribution spatiale des feux de forêts dans la région méditerranéenne les pays ont été classés en trois groupes : pays de l'Ouest de la Méditerranée, pays de l'Est de la Méditerranée et pays du Sud de la Méditerranée (Figure 5). Ce choix

repose sur une dynamique des feux de forêts et des niveaux de risques qui diffèrent d'une zone à une autre dans l'espace méditerranéen (F.A.O., 2013).



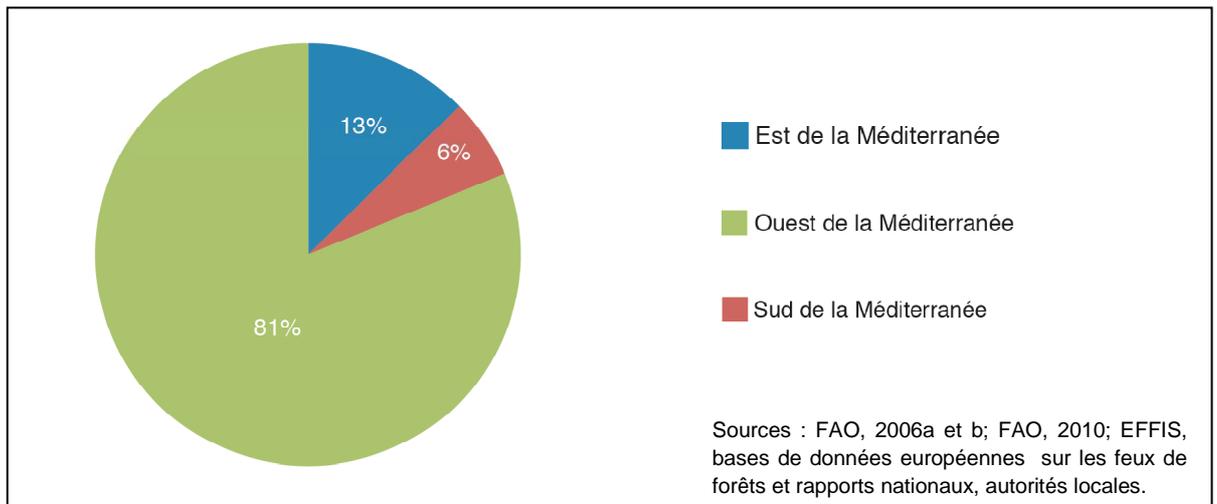
**Figure 4.** Disponibilité des données pour plusieurs variables sur les feux de forêts entre 2000 et 2010.



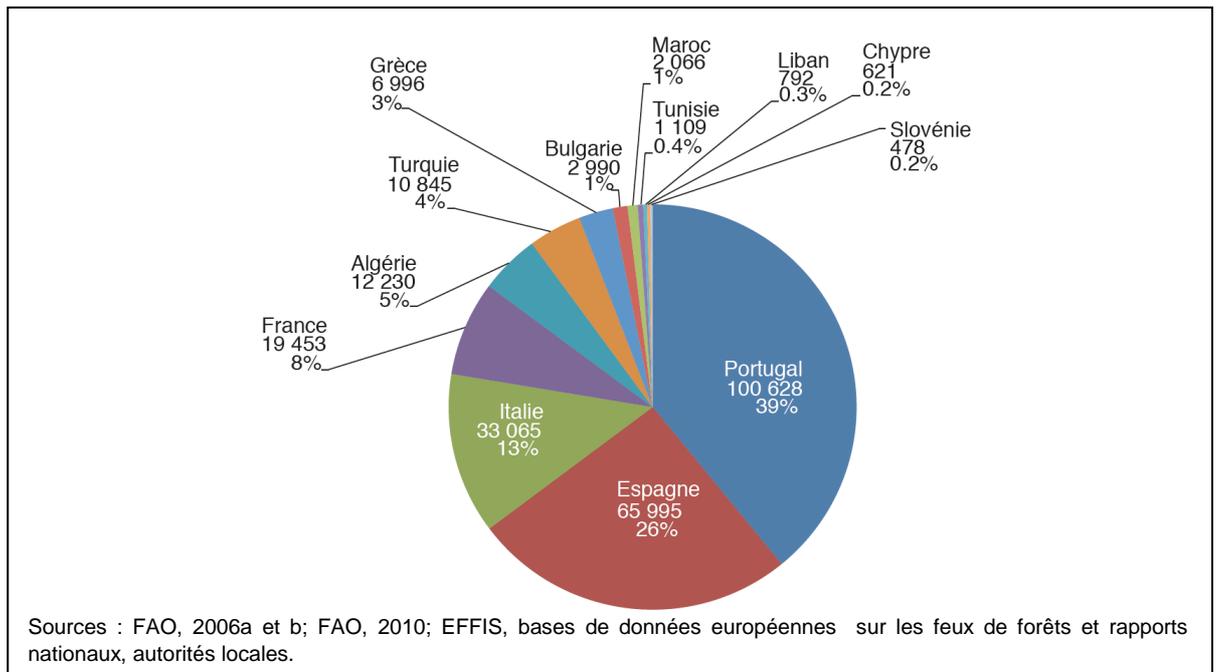
**Figure 5.** Pays dans les différentes zones de la région méditerranéenne (Est, Ouest et Sud).

### I.1.2.1. Nombres de feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006-2010

Cinq pays représentent plus de 85 pour cent du nombre total de feux de forêts au cours de la période 2006-2010. Plus de 269.000 feux de forêts ont été rapportés dans la région méditerranéenne entre 2006 et 2010, soit une moyenne de presque 54.000 feux annuels. 81 pour cent de ces feux de forêts se sont déclenchés dans les pays de l'Ouest de la Méditerranée (Figure 6). La Figure 7 montre l'incidence des feux de forêts dans ces pays pour la période 2006-2010.

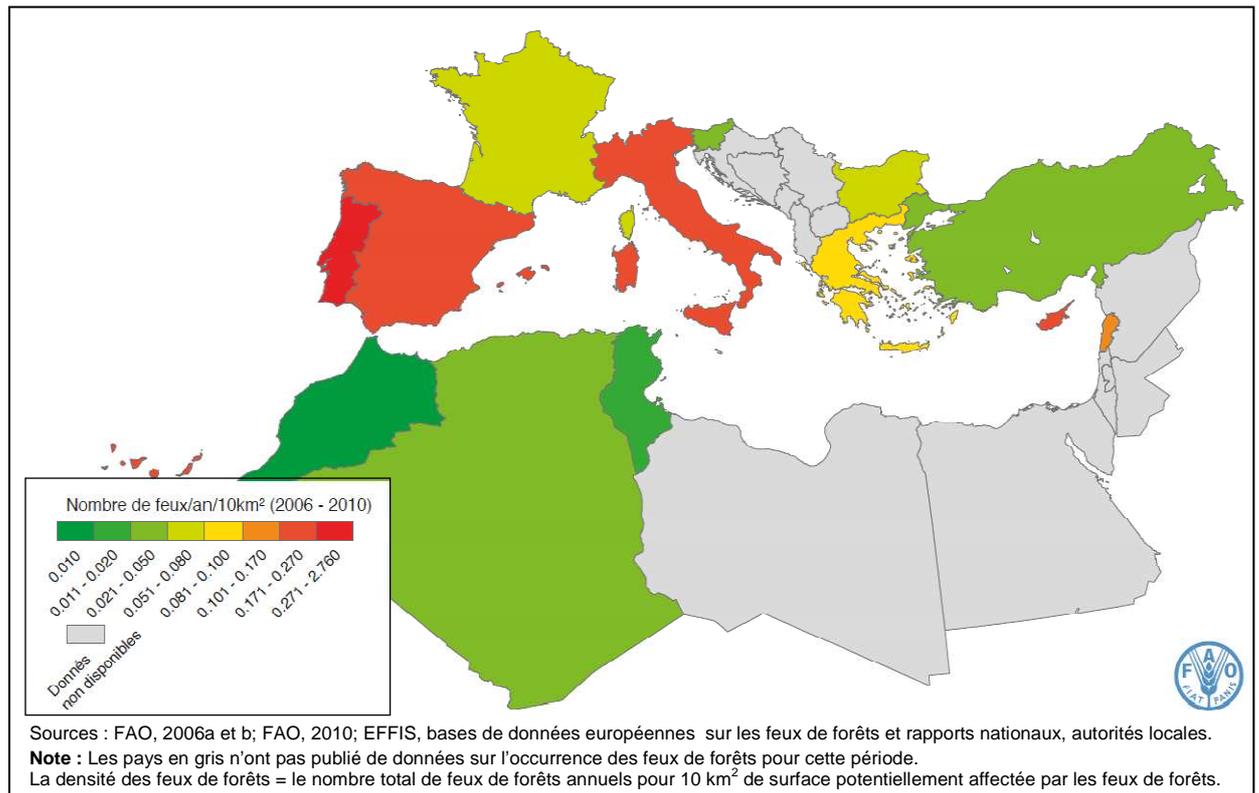


**Figure 6.** Distribution des feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006–2010.



**Figure 7.** Nombre total de feux de forêts dans les pays du pourtour de la Méditerranée avec une série complète de données pour la période 2006–2010.

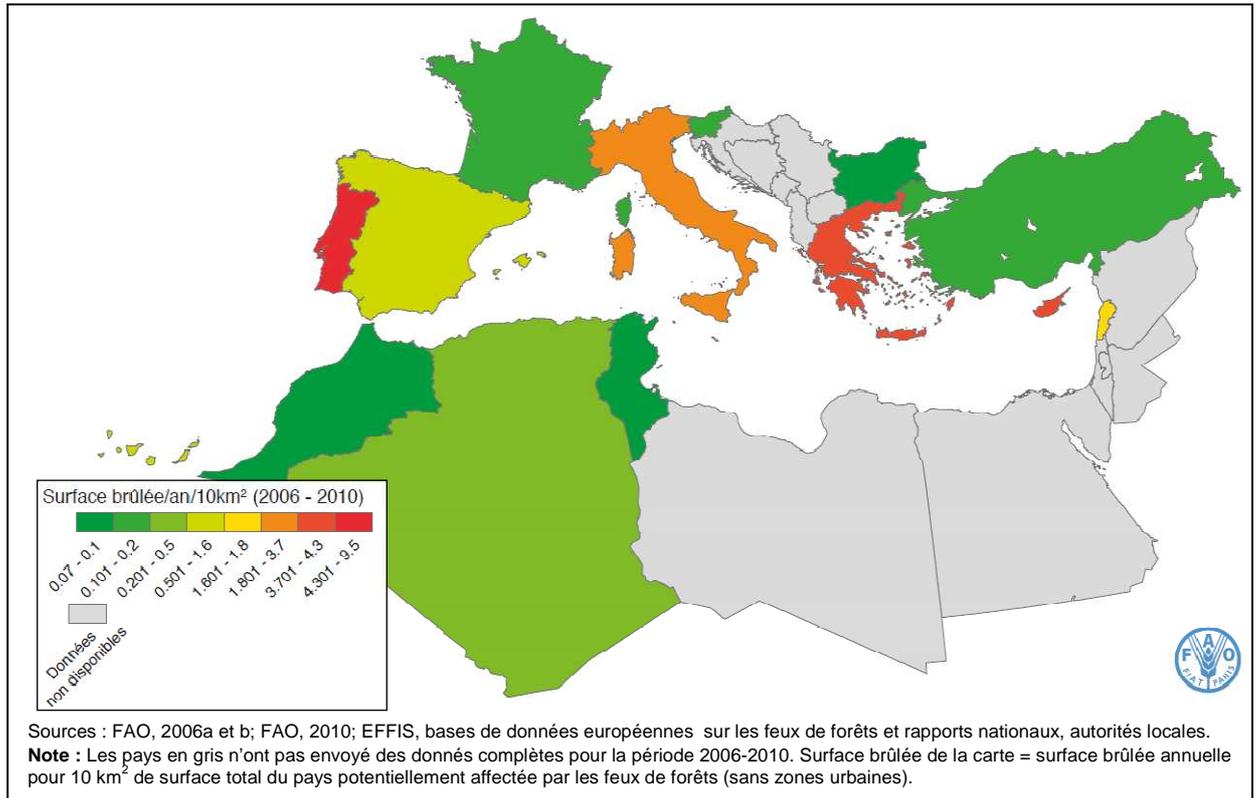
Le Portugal rapporte régulièrement le plus grand nombre de feux de forêts (Figure 8). Ce pourcentage important des feux de forêts dans la péninsule ibérique n'est pas seulement une conséquence directe des conditions climatiques mais a aussi une explication sociologique. L'abandon des terres est en effet en train d'augmenter causant à la fois le rétablissement spontané des forêts et l'absence de gestion forestière (les petits propriétaires forestiers pas vraiment préoccupés par la gestion forestière et le régime foncier fragmenté des forêts).



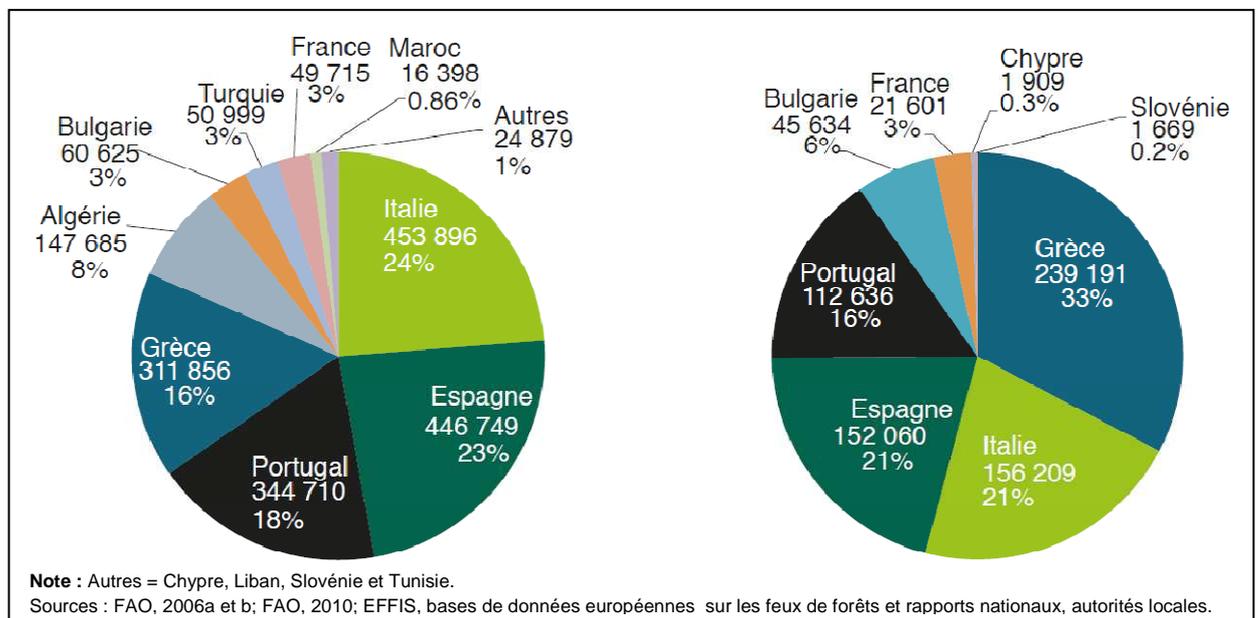
**Figure 8.** Densité des feux de forêts dans la région méditerranéenne période 2006-2010.

### I.1.2.2. Surfaces brûlées dans la région méditerranéenne pour la période 2006–2010

Quatre pays représentent presque 80 pour cent de la “surface totale brûlée” (y compris autres terres boisées et terres agricoles) pour la période 2006–2010 (Figure 9). Au total plus de 2 millions d'hectares ont été brûlés dans la région méditerranéenne au cours de cette période ce qui représente une moyenne annuelle de 400.000 hectares. La Figure 10 montre que 81 pour cent de cette surface totale brûlée entre 2006 et 2010 se situait dans seulement quatre pays (Grèce, Italie, Portugal et Espagne).

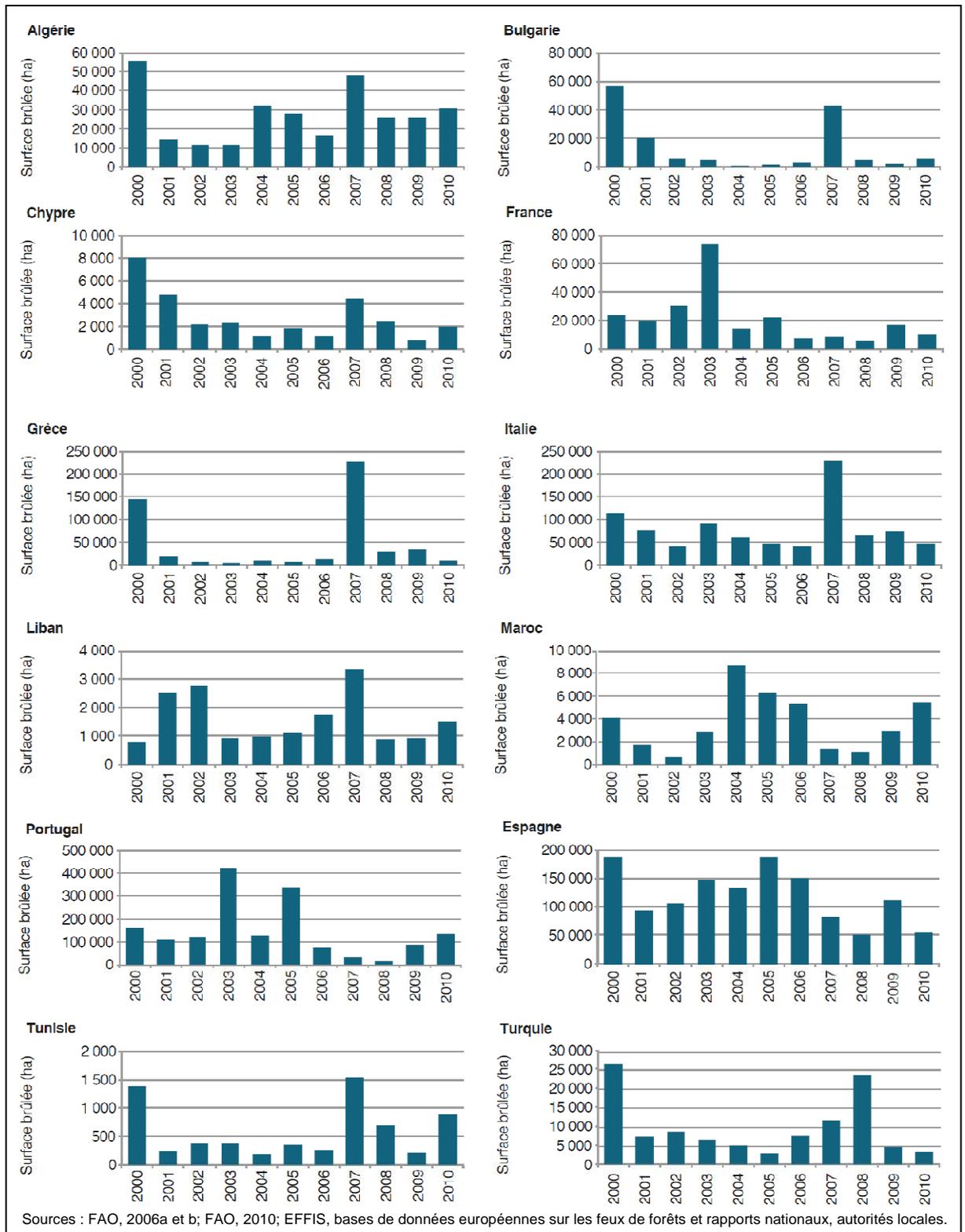


**Figure 9.** Surface annuelle brûlée (compris autres terres boisées et terres agricoles) dans la région méditerranéenne pour la période 2006–2010 (ha/an/10 km<sup>2</sup>).



**Figure 10.** Surface totale brûlée (y compris autres terres boisées et terres agricoles) dans les pays méditerranéens ayant fournis des séries complètes de données pour la période 2006–2010 (à gauche). Surface totale de forêts brûlées dans les pays méditerranéens ayant fournis des séries complètes de données pour la période 2006–2010 (à droite).

La Figure 11 montre qu'il y a de très fortes variations annuelles. Deux pays (Portugal et Espagne) comptent néanmoins très souvent pour plus de 50 pour cent de la surface totale brûlée chaque année dans le pourtour de la Méditerranée.



**Figure 11.** Surfaces annuelles brûlées pour 12 pays méditerranéens avec données complètes pour 2000–2010.

Neuf pays, représentant ensemble près de 67 pour cent de la surface totale de forêts dans les pays du pourtour de la Méditerranée, fournissent également des informations sur les “surfaces de forêts brûlées” au cours de la période 2006–2010. Dans ces pays, la surface totale de forêts brûlées au cours de la période 2006-2010 s’est élevée à 730.907 hectares (F.A.O., 2013).

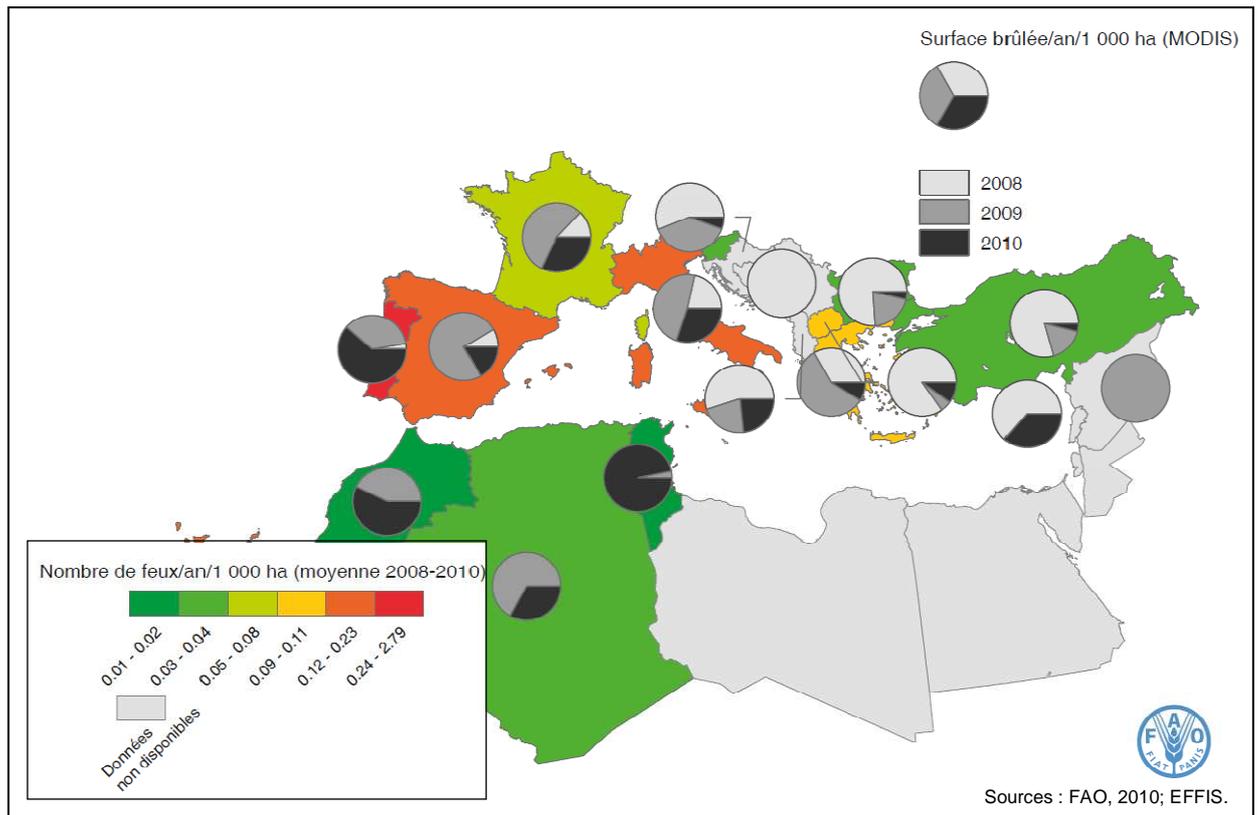
Une source importante de données pour estimer les surfaces brûlées par les feux de forêts dans la région méditerranéenne est disponible grâce au système MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Satellite Imagery). Ces données MODIS permettent de cartographier seulement les feux de forêts d’une surface supérieure à 40 hectares. Même si ces derniers ne représentent qu’une fraction du nombre total de dépôts de feux de forêts répertoriés, ils sont néanmoins responsables d’environ 75 pour cent de la surface totale brûlée chaque année dans le Sud de l’Union Européenne (EU Commission, 2011). Il est important de signaler que la plupart des pays du Nord de l’Afrique n’ont été impliqués dans le suivi des feux de forêts par télédétection que récemment avec des données disponibles seulement depuis 2008.

Ces données MODIS constituent donc une excellente estimation de la situation réelle des dégâts causés par les feux de forêts dans le pourtour de la Méditerranée. Le Tableau 2 et la Figure 12 montrent la répartition des surfaces brûlées par des feux de forêts de plus de 40 hectares pour les années 2008, 2009 et 2010, pour un total de 689.772 hectares brûlés au cours de cette période (F.A.O., 2013).

**Tableau 2.** Surfaces brûlées par les feux de forêts de plus de 40 hectares dans les pays méditerranéens entre 2008 et 2010

Année	Surface brûlée (ha)									
	Albanie	Algérie	Bosnie	Bulgarie	Croatie	Chypre	France	ARYM	Grèce	Palestine
2008	19254	n.s.	6962	5731	3217	1947	1695	14463	24573	n.s.
2009	7607	14192	181	1564	2208	n.s.	7972	901	42760	46
2010	8155	7074	3350	28	330	1122	4677	1692	6496	3013
Année	Italie	Monténégro	Maroc	Portugal	Serbie	Slovénie	Espagne	Syrie	Tunisie	Turquie
2008	24450	5772	n.s.	5352	629	n.s.	10072	n.s.	n.s.	27848
2009	54943	103	2112	75265	n.s.	n.s.	88886	5276	129	5797
2010	34379	2088	2826	127891	n.s.	n.s.	19915	n.s.	3551	1278

**Note :** ARYM = Ancienne République Yougoslave de Macédoine; Syrie = République arabe syrienne; n.s. = non significatif.  
Sources : EFFIS, 2010.



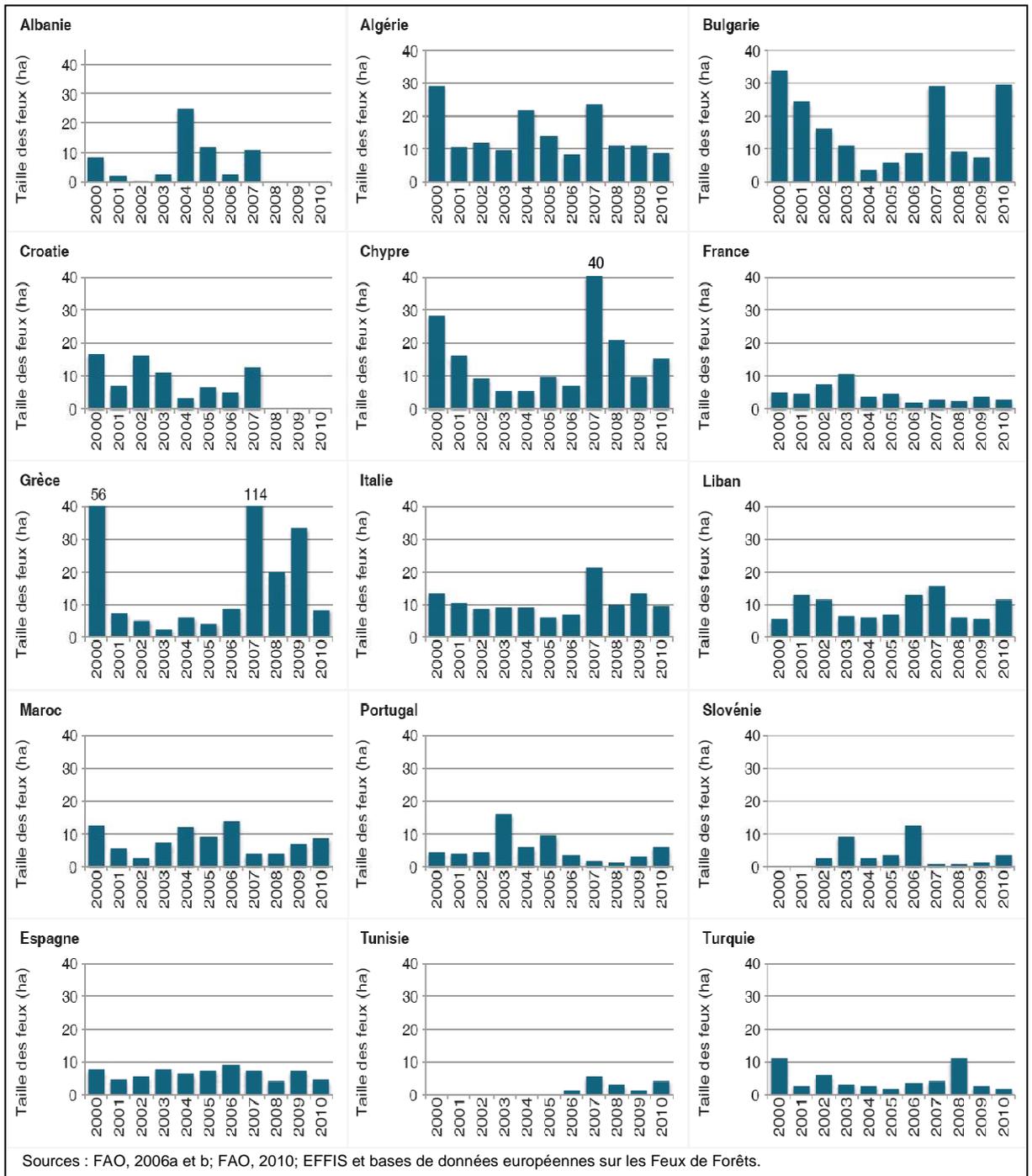
**Figure 12.** Répartition des surfaces brûlées par les feux de forêts entre 2008 et 2010.

### I.1.2.3. Taille moyenne des feux de forêts dans la région méditerranéenne (2000-2010)

La Figure 13 montre la taille moyenne des feux de forêts calculée dans la région méditerranéenne pour la période 2000-2010.

Sur cette figure on observe que la taille moyenne des feux de forêts est significativement plus haute en Algérie, en Bulgarie, à Chypre, en Grèce et, dans une moindre mesure, en Italie en comparaison avec les autres pays du pourtour de la Méditerranée. Les saisons désastreuses des années 2000 et 2007 sont particulièrement visibles sur cette figure.

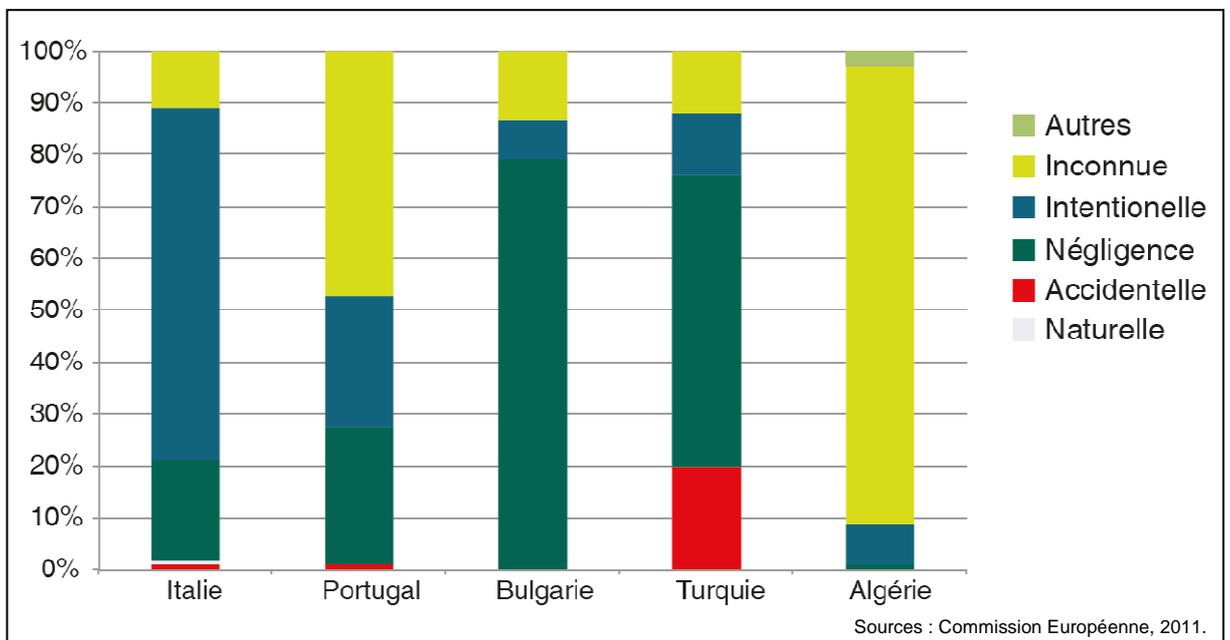
Même si le Portugal présente régulièrement le plus grand nombre de départs de feux de forêts et d'importantes surfaces brûlées, la taille moyenne des feux dans ce pays reste très basse ce qui peut être analysé comme un indicateur d'efficacité des mesures d'intervention.



**Figure 13.** Taille moyenne des feux de forêts dans les pays méditerranéens période 2000-2010.

#### I.1.2.4. Causes des feux de forêts dans le pourtour de la Méditerranée

Le peu d'information harmonisée disponible sur les causes de feux de forêts montre que la région méditerranéenne est caractérisée par une forte prévalence des feux de forêts d'origine humaine. La Figure 14 présente les causes de feux de forêts dans cinq pays du pourtour de la Méditerranée en 2010. La cause "Inconnue" compte pour 51 pour cent du total (allant de 88 pour cent en Algérie à 48 pour cent au Portugal ou à 12 pour cent en Turquie). Cette situation confirme le besoin déjà mis en évidence par la Commission Européenne (2011) d'améliorer les connaissances et le suivi sur les causes de feux de forêts et de capitaliser sur les méthodes d'investigations après les feux de forêts.



**Figure 14.** Causes des feux de forêts rapportées par cinq pays de la région méditerranéenne en 2010.

Une nouvelle classification européenne sur les causes des feux de forêts a été adoptée en 2011. La démarche italienne pour les investigations sur les causes des feux de forêts a contribué au développement d'une nouvelle classification européenne élaborée dans le contexte d'un projet européen piloté par le Cemagref (France) et EFFIS. Ce projet visait l'harmonisation des données entre les pays et la meilleure compréhension des principales causes de départs des feux de forêts (F.A.O., 2013).

## I.2. État des ressources forestières en Algérie

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continuelle contre la sécheresse (plusieurs mois secs consécutifs l'été). Compte tenu de tous les éléments historiques qui la marquèrent et des pressions qu'exercent sans cesse sur elle l'homme et son bétail, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et de son remplacement par les maquis et les broussailles, dont le rôle reste néanmoins extrêmement important pour le contrôle et la fixation des sols en terrain à forte pente. Les forêts algériennes sont caractérisées par leur hétérogénéité (biogéographique, historique, climatique, géomorphologique et physiologique), leur instabilité (érosion, fragilité des sols, violence des orages) et leur vulnérabilité (liée à la diversité géomorphologique).

L'état des forêts est très variable mais, de manière générale, les espèces nobles régressent par rapport aux espèces rustiques. Les grands traits caractérisant la forêt algérienne peuvent se résumer comme suit :

- une forêt essentiellement de lumière, irrégulière, avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ouverts, formés d'arbres de toutes tailles et de tout âge en mélange parfois désordonné ;
- présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires limitant la visibilité et l'accessibilité et favorisant la propagation des feux ;
- faiblesse du rendement moyen en volume ligneux ;
- existence d'un surpâturage important (surtout dans les subéraies) et empiètement sur les surfaces forestières par les populations riveraines.

La forêt algérienne couvre environ 4 millions d'ha soit, moins de 2% de la superficie du pays. La vraie forêt ne représente cependant que 1,4 millions d'ha, le reste étant constitué de maquis (Tableau 3). La production de bois reste modeste (2,37 millions de m<sup>3</sup> en 1993). Le déficit forestier représente aujourd'hui environ 3,8 millions d'ha. Il faut pratiquement doubler la superficie forestière pour atteindre le niveau d'équilibre biologique requis (20 à 25%).

Or, l'effort national destiné à étendre la couverture forestière n'arrive même pas à compenser les pertes dues aux feux, au surpâturage, et à l'exploitation anarchique de la forêt.

**Tableau 3.** Principales essences des forêts algériennes (2007).

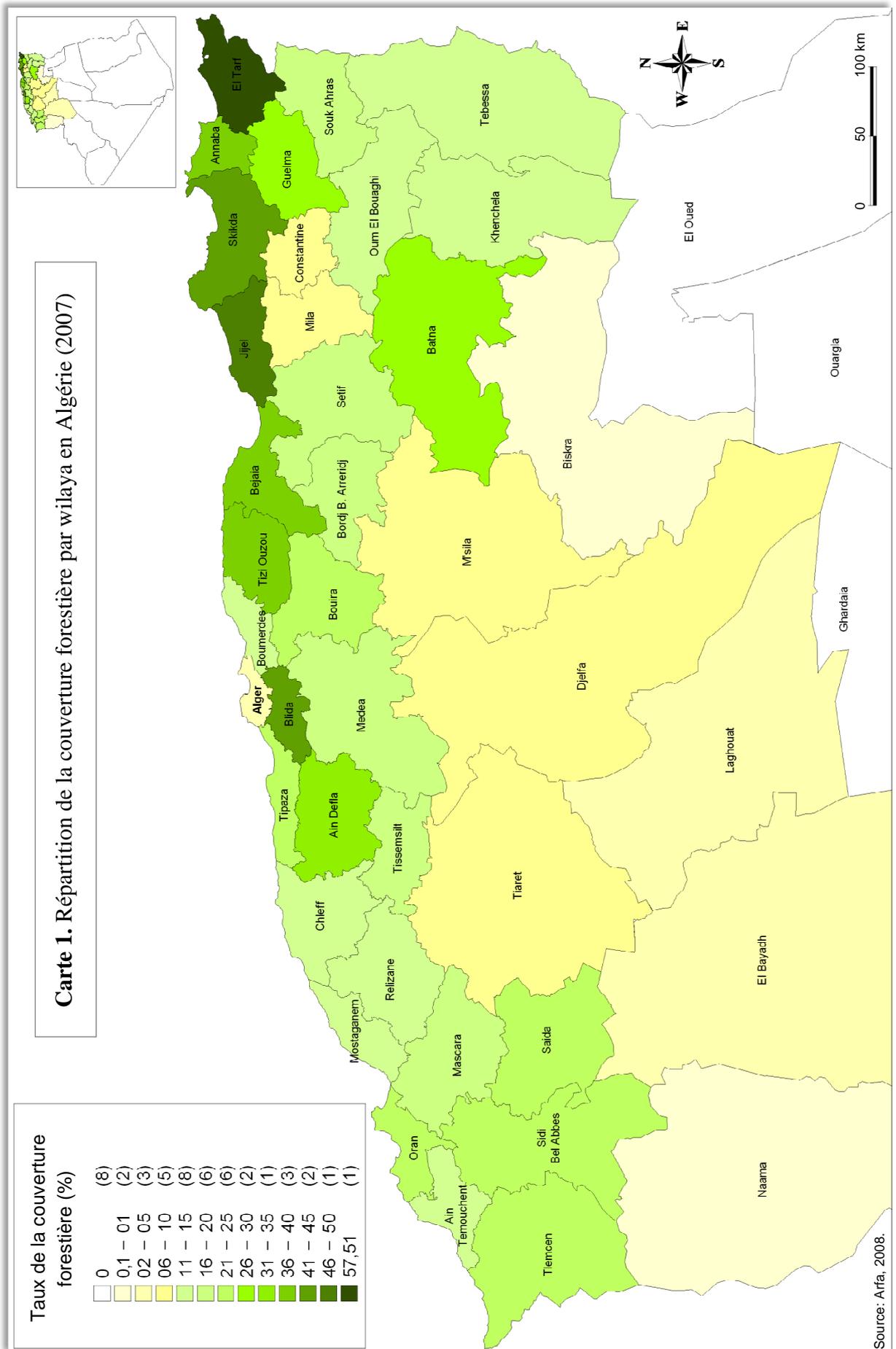
Essences	Superficie (ha)	Taux %
Pin d'Alep	881 000	21,5%
Chêne liège	230 000	5,6%
Chêne vert	108 000	2,6%
Chêne zéen et Chêne Afares	48 000	1,2%
Eucalyptus	43 000	1%
Pin maritime	31 000	0,8%
Cèdre de l'Atlas	16 000	0,4%
Autres (Thuya + Genévrier + Frêne)	124 000	3%
Reboisement et protection	717 000	17,5%
Maquis et broussailles + vides	1 902 000	46,4%
<b>Total</b>	<b>4 100 000</b>	<b>100%</b>

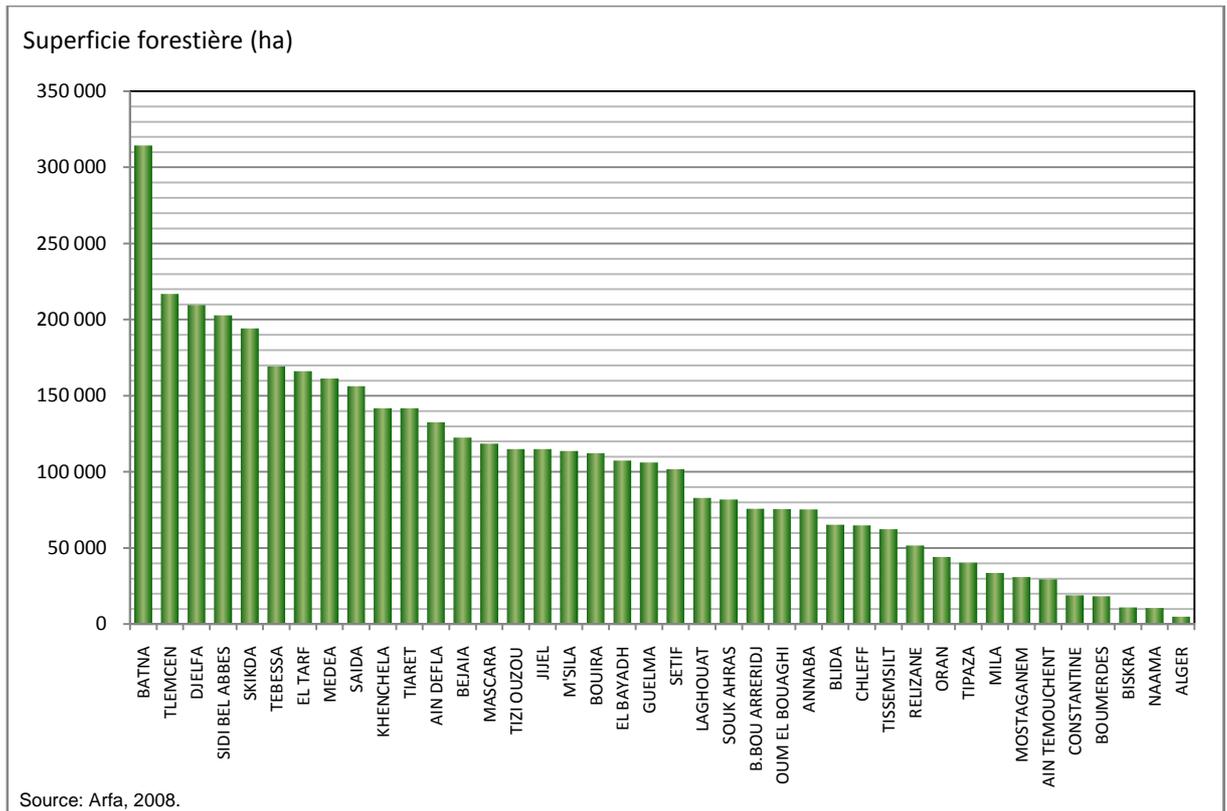
Source : D.G.F.

La végétation forestière est par conséquent en constante régression. La lutte contre la déforestation liée aux feux répétitifs et d'origine aussi bien accidentelle que volontaire, mérite un effort soutenu d'autant que les métiers qu'ouvre la forêt constituent un réservoir d'emplois, dans un pays qui souffre d'un très fort taux de chômage. Par ailleurs la politique forestière constitue un instrument primordial pour lutter contre l'érosion des terres particulièrement en pente (D.G.F., 2004).

### I.2.1. Les surfaces forestières en Algérie

Sur les 48 wilayas que compte l'Algérie, 40 disposent d'une couverture forestière, les huit wilayas du Sud sont dépourvues de forêts. La wilaya d'El Tarf dispose du taux de couverture forestière le plus élevé (57,51%), alors que pour la wilaya de Naama le taux de couverture n'est que de 0,36% (Carte 1). En ce qui concerne la superficie forestière c'est la wilaya de Batna qui dispose de la plus grande superficie avec 314.565 ha, la plus petite superficie revient à la wilaya d'Alger (5000 ha) (Figure 15). Cette répartition s'explique en grande partie par le climat, en effet les massifs littoraux du nord-est, les plus humides, sont aussi les régions les plus forestières. Les 4,1 millions d'hectares de couverture forestière ne représentent qu'un taux de boisement de 10,89% en ne considérant que le nord du pays, et seulement 1,72% si l'on prend en ligne de compte tout le territoire national. Dans les deux cas, cette couverture forestière est nettement insuffisante en comparaison au taux de 25%, mondialement admis (Arfa *et al.*, 2009).





**Figure 15.** Répartition de la superficie forestière par wilaya en Algérie (2007).

## I.2.2. Rôles de la forêt algérienne

### I.2.2.1. Rôle de protection et de loisirs

Vu les caractéristiques de la forêt algérienne (fragilité, vulnérabilité, faible productivité), celle-ci va jouer surtout un rôle de protection des milieux, de préservation des ressources ; un rôle sur la qualité de l'environnement, sur la recherche et les loisirs.

Les forêts participent en amont et en aval à la protection des ressources hydrauliques (sources d'eau, bassins versants lieu d'implantation des ouvrages hydrauliques,...). Pour la préservation et la gestion de la biodiversité, un ensemble d'aires protégées couvre 250.657 ha avec une couverture forestière de 172.201 ha, ces milieux protégés représentent aujourd'hui certains habitats remarquables (cédraies, chênaies caducifoliées, subéraies, zones humides, ...), il devraient à moyen et long terme intégrer les habitats les plus représentatifs de tous les systèmes présents. Ces zones de protection sont également un lieu privilégié pour la promotion de la recherche et du tourisme. D'autres actions favorisant la création de nouvelles

plantations autour et à l'intérieur des agglomérations contribuent à l'amélioration de la qualité de l'environnement urbain (ceinture verte, forêt urbaine, espaces verts, jardin public, ...) (M.A.T.E., 2003).

### **I.2.2.2. Rôle de production**

En plus du rôle de protection, un tiers de la forêt algérienne peut aussi être productif (pin d'Alep, eucalyptus, chêne liège, chênes à feuillage caduc, cèdre et pin maritime). Les forêts de pin d'Alep sont parmi les plus grands producteurs alors que le chêne liège est utilisé surtout pour son écorce.

La production de bois (bois d'œuvre et bois de chauffage) a légèrement fluctué entre 1963 et 1989, une augmentation sensible a commencée à partir de 1990. La production de bois d'œuvre est toujours légèrement supérieure à celui du chauffage. Le pin d'Alep produit à lui seul 70% de la production totale, les 30% restants sont réparties entre les chênes, le cèdre et le pin maritime. Les eucalyptus produisent essentiellement le bois de trituration.

La forêt algérienne à l'instar des autres forêts méditerranéennes est sous l'emprise d'un ensemble de facteurs de dégradation auxquels il faut faire face en permanence. Les deux causes majeures de la régression demeurent les feux de forêts et les maladies.

D'autres facteurs de dégradation sont dus à la pauvreté du monde rural qui induit le surpâturage, les coupes illicites et l'extension des labours à la lisière des forêts. L'absence d'une gestion forestière moderne et efficace sur le terrain contribue aussi à l'état actuel de la situation qui a empêché le maintien et l'essor de ce patrimoine (M.A.T.E., 2003).

### **I.2.3. Causes de dégradation de la forêt algérienne**

La destruction progressive des couverts forestiers est liée à des facteurs anthropiques et ce malgré la réalisation d'importants programmes forestiers (D.G.F., 2004).

Les facteurs ayant contribué à cette situation sont :

- **Les feux** : de 1981 à 2000, 910.631 ha de couverts forestiers ont brûlé. Malgré les capacités de régénération de la forêt, les feux représentent un véritable fléau auquel très peu d'espèces peuvent résister. C'est le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt. Il détruit en moyenne, en l'espace de quelques mois seulement (juin à septembre), plus de 36.000 ha de formations ligneuses par an. La moyenne des différents programmes de reboisement depuis 1963 qui est de 26.000 ha/an ne peut équilibrer ces pertes, même si le taux de réussite de ces actions est de 100%, ce qui n'est malheureusement pas le cas.
- **Le surpâturage** : la forêt sert de parcours permanent pendant la saison des neiges pour les éleveurs du Nord. Elle est aussi terres de transhumance pour les troupeaux steppiques. On dénombre en forêt 960.000 bovins, 600.000 caprins et 4,2 millions d'ovins. Des études montrent que la charge pastorale est au moins quatre fois supérieure aux capacités d'équilibre.
- **Les coupes de bois** : suite à la hausse des prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie sont en augmentation. Ces coupes touchent les arbres ayant les meilleures caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines.
- **Le tourisme** : le tourisme et les usages récréatifs qui nécessitent l'aménagement de voies de circulations, de stations... augmentent les risques d'incendies et affectent les zones boisées.
- **Les défrichements** : les populations montagnardes, privées de surfaces agricoles et marginalisées procèdent à des labours à la lisière des forêts. Ces pratiques, outre qu'elles ont un effet désastreux sur les sols, provoquent des antagonismes permanents entre les riverains et l'administration forestière guidée par un souci de protection des forêts.

#### **I.2.4. Les feux de forêts en Algérie de 1881 à 2006**

Entre 1881 et 2006, trois décennies ont été particulièrement désastreuses pour la forêt algérienne, la décennie 1911-1920 qui coïncide avec la première guerre mondiale, la décennie 1951-1960 et la décennie 1991-2000 (Tableau 4). Deux causes principales sont à l'origine des feux de grande ampleur que connaissent nos forêts :

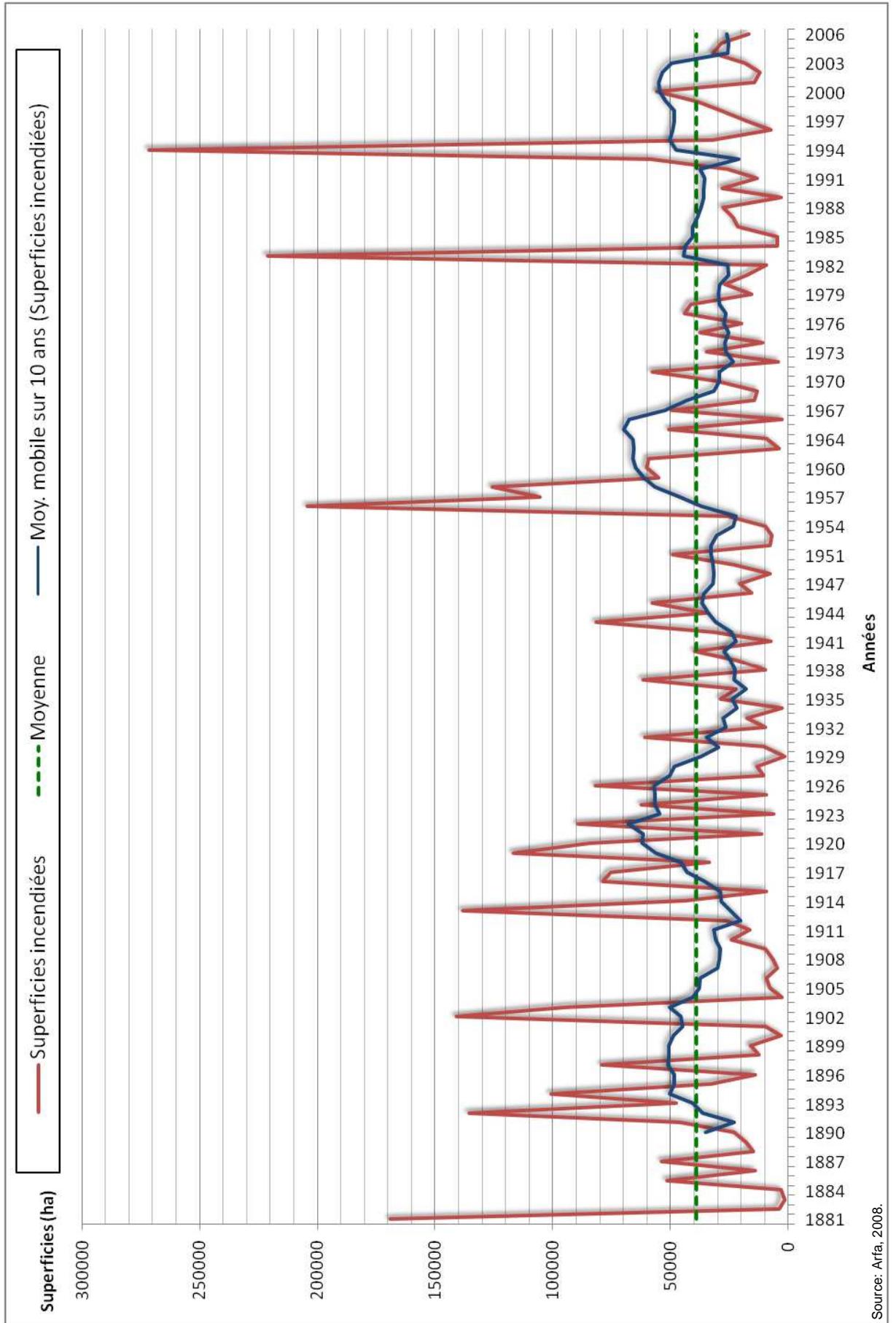
- le climat, c'est durant les années particulièrement sèches (1983) que les feux ont été les plus dévastateurs ;
- la deuxième cause est liée au trouble social, en particulier lors des guerres et des révoltes, en raison notamment, de la conjoncture sécuritaire difficile qu'a traversé l'Algérie durant la décennie noire 1990-2000. C'est l'année 1994 qui a été la plus destructrice pour la forêt algérienne avec une superficie de 271.598 ha soit 6,6% de la superficie forestière totale (Figure 16).

De 1881 à 2006, 4.834.874 ha, soit 118% du domaine forestier algérien à brûlé en 126 ans (Arfa, 2008).

**Tableau 4.** Surfaces forestières brûlées en Algérie entre 1881 et 2006.

Périodes	Superficie brûlée (ha)	Moyenne (ha)	Année la plus touchée de la décennie	
			Année	Superficie brûlée (ha)
<b>1881 – 1890</b>	353 856	35 386	1881	169 056
<b>1891 – 1900</b>	487 796	48 780	1892	135 574
<b>1901 – 1910</b>	309 889	30 989	1902	141 141
<b>1911 – 1920</b>	622 571	62 257	1913	138 191
<b>1921 – 1930</b>	296 262	29 626	1922	89 473
<b>1931 – 1940</b>	275 096	27 510	1937	61 877
<b>1941 – 1950</b>	280 119	31 124	1943	81 678
<b>1951 – 1960</b>	649 970	64 997	1956	204 220
<b>1961 – 1970</b>	233 772	25 975	1961	59 471
<b>1971 – 1980</b>	292 849	29 285	1971	57 835
<b>1981 – 1990</b>	361 391	36 139	1983	221 368
<b>1991 – 2000</b>	549 240	54 924	<b>1994</b>	<b>271 598</b>
<b>2001 – 2006</b>	122 063	20 344	2004	31 999
<b>Total</b>	<b>4 834 874</b>	<b>38 991</b>	/	/

Source : Arfa, 2008.



Source: Arfa, 2008.

**Figure 16.** Evolution des superficies forestières brûlées en Algérie de 1881 à 2006.

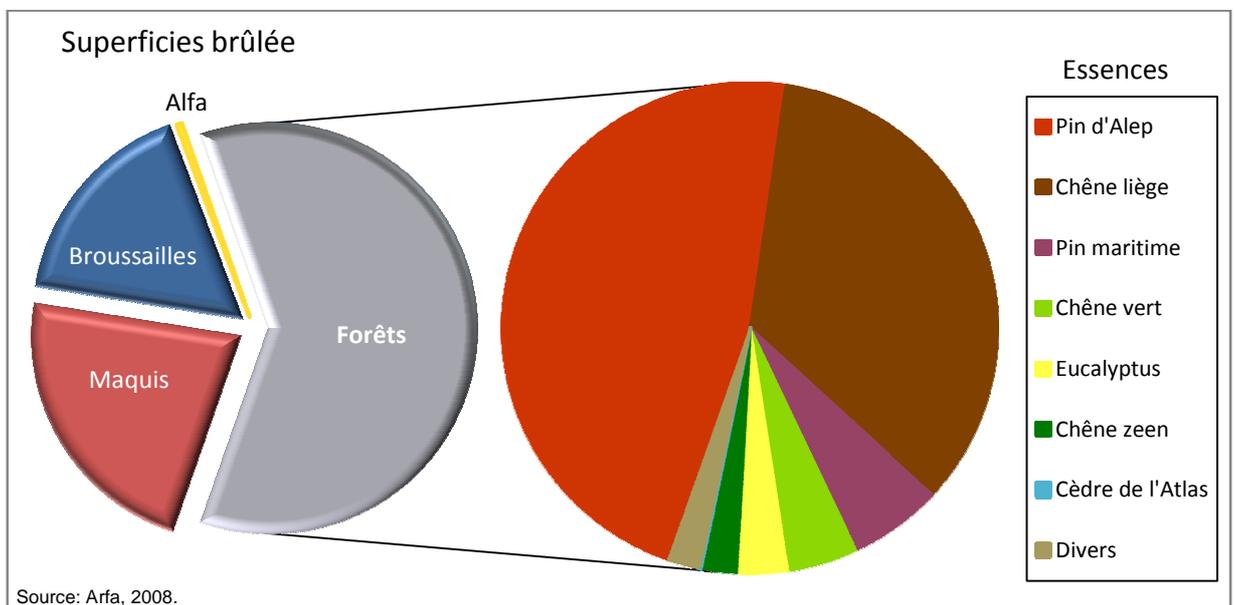
### I.2.5. Bilan des feux de forêts en Algérie entre 1985 et 2006

Durant les deux décennies, allant de 1985 à 2006, la superficie totale brûlée en Algérie se chiffre à 779.872,11 ha, avec un total de 32.354 feux. La superficie moyenne par foyer est de 24,10 ha (Arfa, 2008).

#### I.2.5.1. Bilan des feux de forêts suivant les formations végétales et types d'essences

La forêt demeure la formation végétale la plus touchée par les feux avec plus de 60% de la superficie totale brûlée. Ce sont les forêts de pin d'Alep et de chêne liège qui payent le plus lourd tribut. Entre 1985 et 2006, ce sont près de 222.205 ha de pinède et 163.421 ha de subéraies qui ont brûlé soit 49,45% (Figure 17).

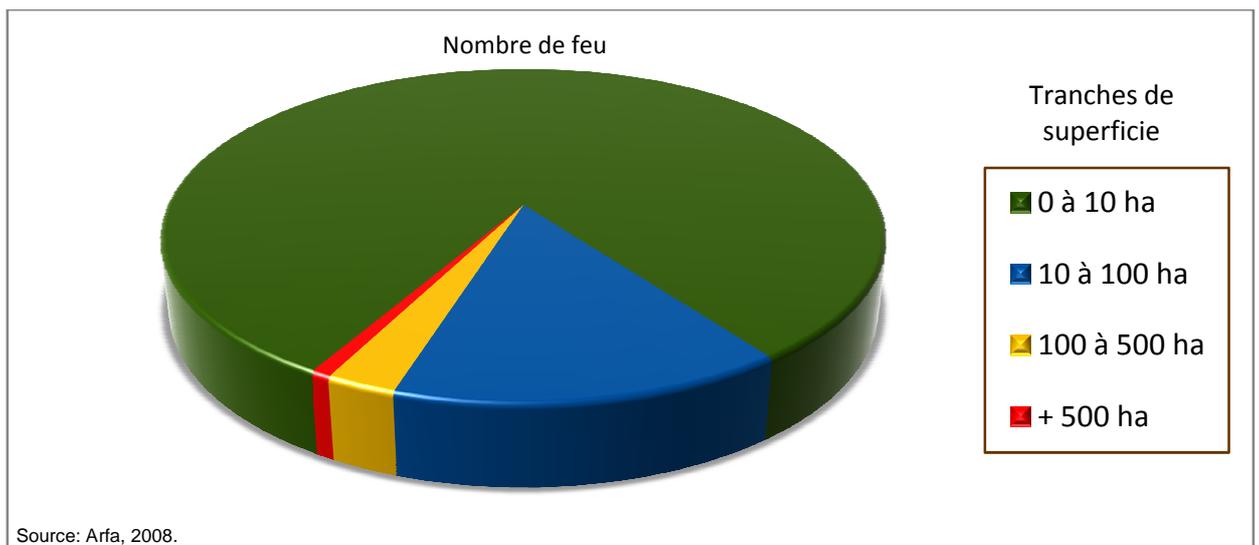
La majorité des forêts algériennes est constituée de pin d'Alep, une essence très combustible, ce qui explique donc l'importante superficie brûlée de celle-ci. En revanche pour le chêne liège, cette superficie brûlée est due au fait que, cette espèce est concentrée dans la région Est du pays où s'exerce une forte pression anthropique (Arfa *et al.*, 2009).



**Figure 17.** Les superficies brûlées par formations végétales et type d'essences en Algérie de 1985 à 2006.

### I.2.5.2. Taille moyenne des feux de forêts en Algérie

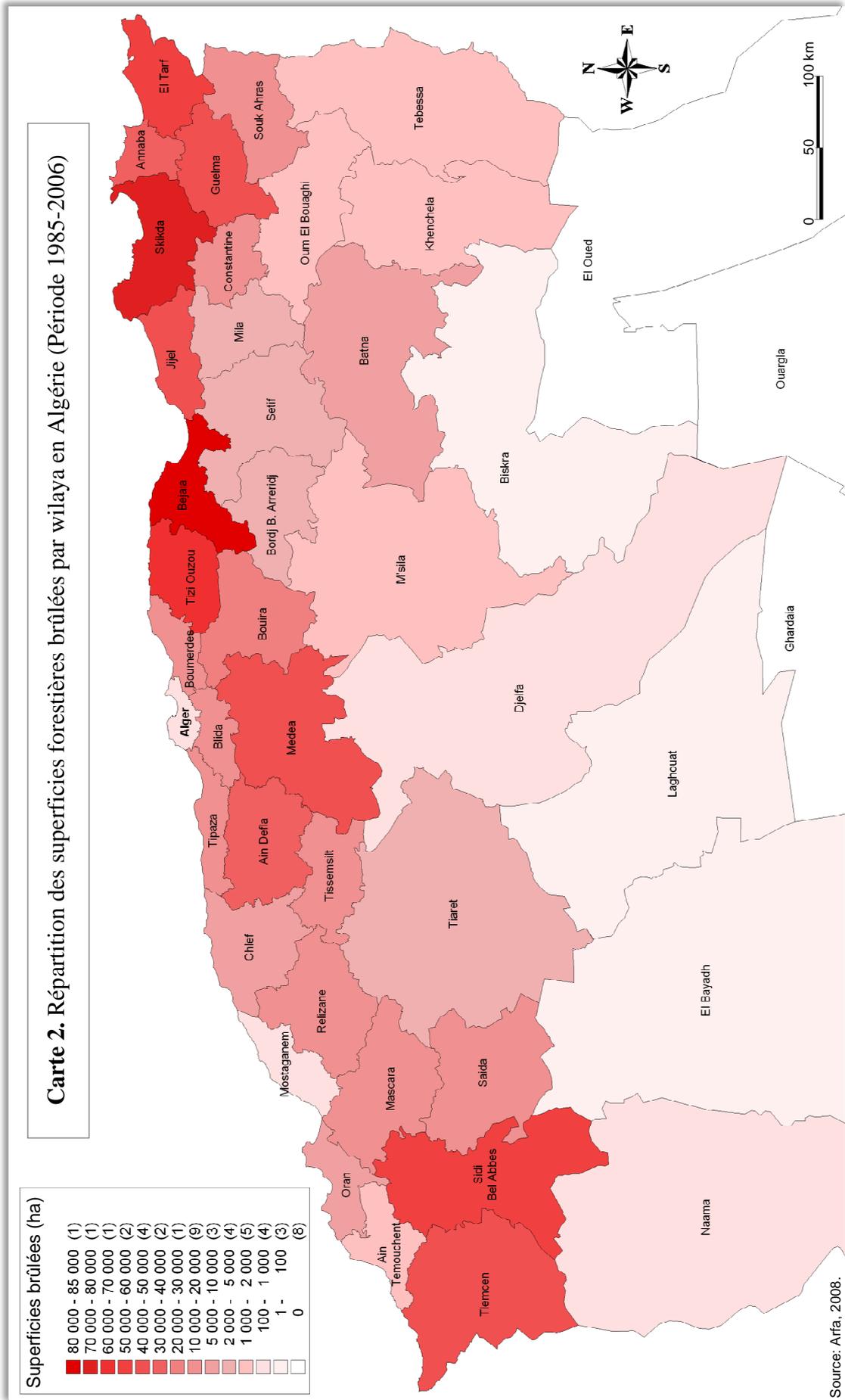
Durant la période 1985 à 2006, dans la tranche de superficie inférieure à 10 ha, pas moins de 26.390 foyers s'y sont déclarés, soit 82%, au-delà de 500 ha, 248 feux sont dénombrés dont 12 ont concerné des superficies dépassant les 5000 ha, avec 7 pour la seule année 1994 durant laquelle nous avons enregistré un feu qui avait dévasté à lui seul 10.409 ha (Figure 18) (Arfa *et al.*, 2009).

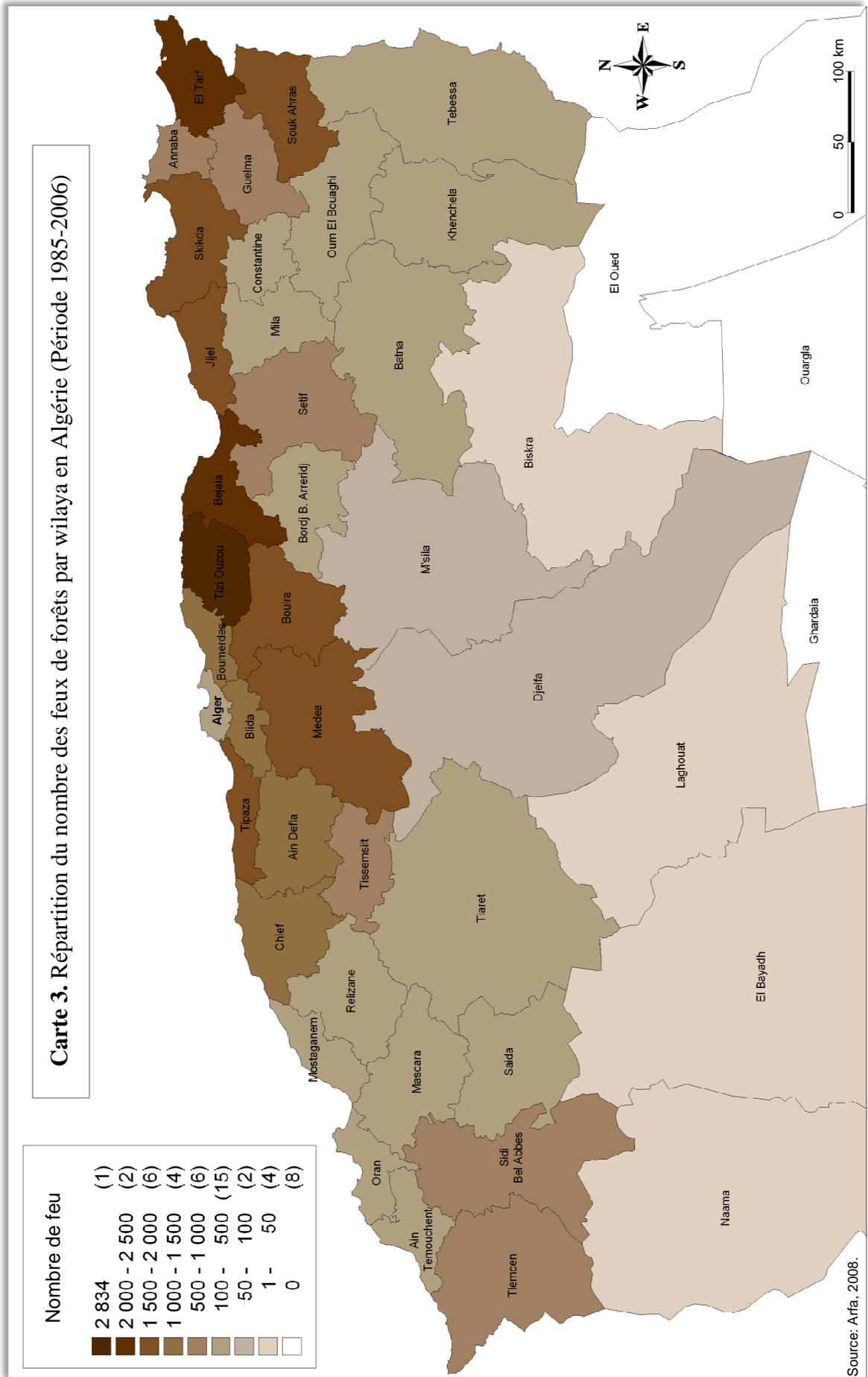


**Figure 18.** Taille moyenne des feux de forêts en Algérie de 1985 à 2006.

### I.2.5.3. Bilan des feux de forêts par wilaya

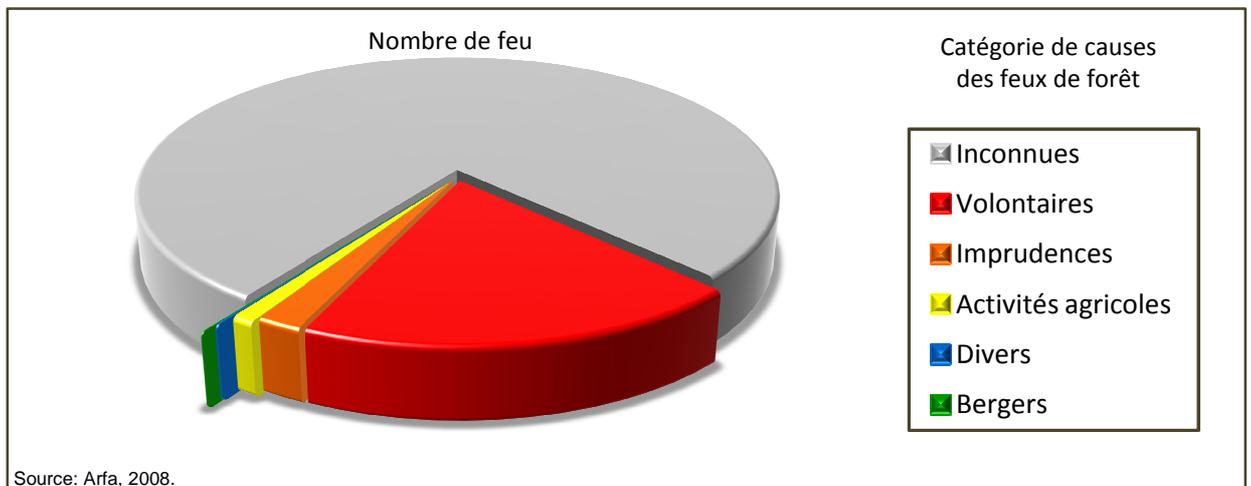
La wilaya de Bejaia demeure celle qui a été la plus touchée par les feux de forêts, avec une superficie brûlée de 84.684 ha. Par ailleurs, les 10 wilayas à savoir : Bejaia, Skikda, Tizi-Ouzou, El-Tarf, Sidi-Bel-Abbès, Tlemcen, Jijel, Médéa, Guelma et Annaba totalisent à elles seules une superficie brûlée de 552.538 ha soit 71%. Les feux dans ces wilayas, prises individuellement, dépassent les 38.000 ha (Carte 2). Par contre, dans les 30 wilayas restantes la superficie brûlée est en deçà de la valeur suscitée et atteint dans certains cas des valeurs négligeables, comme c'est le cas de la majorité des wilayas situées dans les zones semi-arides. Concernant le nombre de feux, 17.730 (soit 55%) concernent seulement 09 wilayas qui sont, en l'occurrence : Bejaia, Tizi-Ouzou, Médéa, El-Tarf, Souk-Ahras, Skikda, Jijel, Tipaza et Bouira (Carte 3). Ces wilayas totalisent chacune un nombre de foyers supérieur à 1500, avec un maximum enregistré dans la wilaya de Tizi-Ouzou s'élevant à 2834 départs de feux (Arfa *et al.*, 2009).





#### I.2.5.4. Causes des feux de forêts en Algérie

En Algérie, sur les 32.354 feux déclarés entre 1985 et 2006, seuls 7193 sont d'origine connue, soit 22,23%, dont 6200 d'origine volontaire (Figure 19). Par contre, 77,77% soit 25.161 départs de feux sont d'origine inconnue. Ceci démontre les efforts qui doivent être entrepris pour cerner au mieux les causes des feux de forêts, afin de mieux les connaître et réduire leurs effets. Pour cela, la recherche des causes et des auteurs est d'une importance capitale, mais pas aisée, compte tenu de l'étendue de la superficie à gérer et du manque de formation du personnel forestier en matière de police scientifique (Arfa *et al.*, 2009).



**Figure 19.** Cause des feux de forêts en Algérie de 1985 à 2006.

#### I.2.5.5. Impact économique des feux de forêts en Algérie

Les pertes économiques dans le secteur forestier générées par les feux de forêts en Algérie entre 1985 et 2006 se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens (Tableau 5). Cette évaluation financière ne prend en compte que la valeur marchande des produits perdus (bois, liège, broussailles, alfa, arboriculture...) sans tenir compte des dépenses annuelles pour la lutte contre les feux de forêts (matériels, véhicules, main-d'œuvre...). De plus il faut ajouter à cela une perte à long terme de la biodiversité et de l'équilibre des écosystèmes forestiers, qui reste très difficile à chiffrer. Surtout si on sait que le reboisement et l'entretien d'un hectare coûte en moyenne entre 80.000 et 100.000 DA. L'une des conséquences indirectes des feux de forêts est l'érosion des sols et l'envasement des barrages qui représentent une perte économique importante. Donc, ces chiffres sont bien en dessous de la réalité, mais ils permettent d'avoir au moins une idée de l'impact économique des feux sur la forêt algérienne.

Le PNAE-DD 2002 (Programme National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable) estimait que 25.000 ha de forêts sont perdus chaque année (correspondant à un coût équivalent à 0,05% du PIB coût n'incluant pas les fonctions écologiques de la forêt, difficilement évaluables). Le rythme de réalisation de plantations forestières est même en régression par rapport à la décennie passée. Heureusement, le programme d'arboriculture forestière au profit des populations, connaît un réel succès et l'on peut penser que des compensations positives ont été opérées, permettant une légère amélioration globale de la couverture végétale (forêts et arboriculture fruitière à base d'espèces rustiques). Bien que difficiles à évaluer, les impacts sur la biodiversité en termes de coûts ont été estimés à 0,21% du PIB. Ce coût n'a pas dû changer au cours de la période considérée, les pertes supplémentaires éventuelles ayant été compensées par les gains générés dans ce domaine, par les plantations forestières nouvelles et les mises en défens des parcours steppiques (Arfa *et al.*, 2009).

**Tableau 5.** Evaluation des pertes économiques générées par les feux dans le secteur forestier en Algérie entre 1985 et 2006.

Années	Bois (1000 DA)	Liège (1000 DA)	Broussaille (1000 DA)	Alfa (1000 DA)	Autres (1000 DA) (Arbres fruitiers, oliviers, cultures, etc.)	Pertes totales (1000 DA)
1985	314.187	21.161	343.682	87	6.149	685.266
1986	1.658.339	119.958	1.349.812	35	34.861	3.163.005
1987	1.978.719	168.383	1.067.561	5.220	43.170	3.263.053
1988	2.339.896	327.738	871.913	327	100.483	3.640.357
1989	340.184	15.005	110.690	0	26.255	492.134
1990	1.954.633	663.086	352.373	11	13.256	2.983.359
1991	1.418.509	97.150	499.272	556	51.714	2.067.201
1992	2.059.801	260.209	1.265.795	965	120.841	3.707.611
1993	5.952.337	590.972	1.894.960	387	111.068	8.549.724
1994	31.529.704	2.775.945	3.835.532	2.268	589.509	38.732.958
1995	4.003.410	144.357	223.159	1.108	193.022	4.565.056
1996	1.057.776	16.513	119.854	2.471	44.129	1.240.743
1997	2.248.456	116.642	252.494	135	51.980	2.669.707
1998	3.486.049	236.290	573.296	393	68.668	4.364.696
1999	3.700.111	352.384	1.266.823	229	102.406	5.421.953
2000	6.373.609	539.731	1.036.992	123	156.850	8.107.305
2001	405.289	37.971	10.826	215	7.243	461.544
2002	344.925	53.994	44.095	2.148	6.015	451.177
2003	2.511.937	96.489	389.502	96	49.722	3.047.746
2004	4.421.098	54.085	1.074.281	949	107.586	5.657.999
2005	7.010.036	406.299	992.886	214	125.733	8.535.168
2006	359.997	69.015	750.411	1.672	71.074	1.252.169
Total	85.469.002	7.163.377	18.326.209	19.609	2.081.734	113.059.931

Source : Arfa, 2009.

### **I.3. État de l'art**

A travers l'abondante littérature sur les feux de forêts, nous pouvons dégager quelques caractères généraux. Il en ressort nettement que le feu constitue un facteur écologique majeur, agissant à plusieurs niveaux d'organisation des écosystèmes et de manière universelle, même s'il semble être une préoccupation encore plus importante dans la région méditerranéenne. De plus, le feu reste un pôle d'intérêt considérable au regard des moyens développés en terme d'études quant aux pratiques de gestion, de protection des massifs et d'évaluation des risques.

#### **I.3.1. État de la recherche dans le monde**

A travers le monde, à l'exception de la région méditerranéenne qui sera traitée plus loin, la thématique des feux de forêts a été abordée sous plusieurs aspects et dans différents pays dont les plus importants sont : les USA, le Canada et l'Australie.

##### **I.3.1.1. Les feux de forêts et la télédétection**

Plusieurs travaux et articles portant sur l'utilisation de la télédétection ont été recensés.

Dès 1977, Kourtz a réalisé des travaux sur l'application de la technologie numérique LANDSAT pour la cartographie du type de combustible au niveau des forêts canadienne. En ce qui concerne l'application de la télédétection pour la modélisation du combustible et l'évaluation de la teneur en humidité de la végétation, il y a les travaux de Barber (1987) et Burgan *et al.* (1998).

Karlikowski *et al.* (1997) ont étudié les possibilités d'utilisation des images satellitaires NOAA-AVHRR pour l'évaluation des risques feux de forêts, alors que Kaufman *et al.* (1998) ont travaillé sur la surveillance globale des feux avec le satellite EOS-MODIS. Jin (2010), a utilisé le produit de surface brûlée du radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne (MODIS) pour caractériser les feux de forêts.

### **I.3.1.2. Les feux de forêts et les SIG**

Chen *et al.* (2003) ont étudié une approche intégrée de l'évaluation des risques liés aux feux de brousse en utilisant le SIG. Pour les travaux sur l'analyse SIG des modèles spatiaux et temporels des feux de forêts, on peut citer Vega-Garcia *et al.* (1993), Pew et Larsen (2001) et Wittkuhn et Hamilton (2010). Shahram (2006) a travaillé sur le développement d'un système de soutien à la décision spatiale SIG pour la gestion des feux de forêts.

### **I.3.1.3. Relation entre feux de forêts, climat et topographie**

Les travaux de Van Wagner (1987) ont porté sur l'élaboration de la méthode canadienne de l'indice forêt météo utilisé pour la prévision des feux de forêts. Aux USA, Bernard M.L. et Bernard L.G. (2007) et Littell *et al.* (2009) ont étudié la corrélation entre les données statistiques des feux de forêts, la météo et le climat. En ce qui concerne les contrôles climatiques et topographiques sur les modèles de feux de forêts il y a les travaux de Flatley *et al.* (2011) réalisé dans les montagnes des Appalaches du sud et du centre des États-Unis.

### **I.3.1.4. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques**

Nous avons recensé beaucoup de travaux traitant la question du rôle de l'action anthropique dans les départs de feux de forêts.

Aux USA, Hansbrough (1961) a réalisé une analyse sociologique des feux de forêts causés par l'homme en Louisiane. Cole et Kaufman (1963), Bertrand et Baird (1975) et Cardille *et al.* (2001) ont étudié la relation entre les facteurs socio-économiques et les feux de forêts. Christiansen et Folkman (1971) se sont intéressés aux caractéristiques des personnes incendiaires. Altobellis (1993) a réalisé une enquête sur la densité de la population rurale et l'apparition des feux de forêts dans le Sud des États-Unis entre 1956 et 1970.

Au Canada, plusieurs études ont élaboré des modèles logistiques pour prédire l'apparition quotidienne de feux de forêts causés par l'homme, on peut citer les travaux de Martell *et al.* (1987), Vega-Garcia *et al.* (1995) et Vega-Garcia *et al.* (1996). Enfin, Ubysz et Szczygiel (2006) ont étudié les causes naturelles et sociales des feux de forêts en Pologne.

### **I.3.2. État de la recherche dans la région méditerranéenne**

Au sein de la région méditerranéenne, la thématique des feux de forêts a été abordée sous plusieurs aspects et dans différents pays, surtout ceux situés sur la rive Nord de la méditerranée, dont les plus importants sont : la France, l'Espagne et l'Italie.

#### **I.3.2.1. Recherche sur l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation**

Delabraze et Valette (1974), Alexandrian (1982) et Valette (1990) ont tous travaillé sur l'inflammabilité des espèces et la combustibilité des formations forestières méditerranéennes. En 1981, Doat et Valette ont déterminé les valeurs spécifiques du pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes. Trabaud (1985) a étudié la quantité d'énergie et la puissance potentielle de feu de quelques communautés végétales du sud de la France. La teneur en eau de combustibles forestiers méditerranéens a été étudiée par Moro et Valette (1996). Papio et Trabaud (1991) ont étudié les composants structurels de la canopée influant sur l'inflammabilité et le comportement au feu de cinq espèces d'arbustes méditerranéens. D'autres auteurs ont travaillé sur l'inflammabilité et la sensibilité d'espèces spécifiques, on peut citer les travaux d'Alexandrian et Rigolot (1992) sur le pin d'Alep et ceux d'Hernando *et al.* (1994) sur la bruyère et l'arbousier.

#### **I.3.2.2. Bilans et statistiques des feux de forêts**

Plusieurs auteurs ont réalisé des études statistiques sur les bilans des feux de forêts. Alexandrian et Esnault (1998) et Alexandrian *et al.* (1999) ont analysé les tendances des feux de forêts et les politiques nationales ayant une incidence sur ces feux dans le bassin Méditerranéen. Alexandrian en 2008 a présenté un article qui passe en revue les statistiques feux de forêts de 1978 à 2008 (surfaces brûlées, nombres de départ de feux, causes,...) de quinze départements du sud de la France. Hadjikyriakou (2000) a analysé la situation des feux de forêts à Chypre durant la période 1980-1999. Mol et Küçükosmanoglu (1997) ont étudié les bilans des feux dans les forêts turques entre 1937 et 1995. Au Maroc, Assali et Rachdi (2005) ont étudié et analysé les feux de forêts de 1960 à 2004. Ben Jamaa et Abdelmoula (2004) se sont intéressés aux feux de forêts dans la subéraie tunisienne entre 1956 et 1990.

En 1990 Alexandrian et Gourian ont travaillé sur l'identification des causes des feux, en appliquant la méthode de l'analyse discriminante, qui permet d'établir un modèle d'identification des causes à partir d'un échantillon de feux d'origine connue et de l'appliquer aux feux d'origine inconnue, sur l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur entre 1973 et 1987. Mangiavillano (2008) a étudié la Multi-scalarité du phénomène feu de forêt en région méditerranéenne française durant la période 1973-2006. San-Miguel-Ayanz *et al.* (2013) ont analysé les grands feux de forêts dans les paysages méditerranéens européens entre 1980 et 2010.

### **I.3.2.3. Les feux de forêts et la télédétection**

De nombreux travaux et articles portant sur l'application de la télédétection spatiale ont été recensés au niveau de la région méditerranéenne.

Chuvienco et Congalton (1989) ont utilisé les données LANDSAT pour dériver une carte de risque feu des forêts de la côte méditerranéenne espagnole. López *et al.* (1991), Chuvienco et Martin (1994), Illera *et al.* (1996) et Calle *et al.* (1999) ont tous travaillé sur l'évaluation, l'estimation et la cartographie, à grande échelle, du risque feu de forêt en Espagne, au moyen d'images NOAA-AVHRR. Gabban *et al.* (2008) ont évalué le risque feu de forêt dans la région méditerranéenne européenne en comparant les indices satellitaires et météorologiques. L'analyse a été effectuée en tenant compte d'un ensemble de données de 10 ans d'incendie, de données satellitaires et de données météorologiques pour l'Espagne.

Deshayes *et al.* (1998), dans le cadre du projet MEGAFIRES financé par la CE, ont testé et validé dix différents indices NOAA-AVHRR pour l'estimation de la teneur en humidité du combustible, afin d'évaluer le risque feu de forêt à court terme. L'étude a été menée sur trois zones différentes, caractéristiques de la végétation méditerranéenne: les Maures (France), le parc national de Cabañeros (Espagne) et la péninsule de Chalkidiki (Grèce). Dauriac (2004) a réalisé un suivi multi-échelle par télédétection et spectroscopie de l'état hydrique de la végétation pour la prévention du risque de feu de forêt dans le sud-est de la France.

Dans la région du Maghreb, il y a les travaux de Mezned *et al.* (2005) sur l'apport de l'imagerie spatiale SPOT-XS et ASTER pour le suivi de la dynamique de la végétation avant

et après incendie, ainsi que l'estimation de l'inflammabilité des formations forestières sur le site d'Oum Laboueb (Djebel Fkirin) situé au Nord de la Tunisie. Il y a également les travaux de Lili Chabaane *et al.* (2008) portant sur la cartographie de l'inflammabilité et de la combustibilité des formations végétales, dans le massif tunisien de Djebel Mansour, à l'aide des images satellitaires IKONOS et ASTER. Au Maroc, Faleh *et al.* (2012) ont utilisé le SIG et la télédétection pour élaborer une carte de risque feu de forêt du massif forestier Khezana située dans la province de Chaouene.

Darwich *et al.* (2015) ont évalué et cartographiés le risque feu de forêts dans le bassin versant du Nahr Ibrahim au Liban, en utilisant la télédétection et les techniques SIG.

Certain auteurs ont traité la problématique des feux de forêts et l'application de la télédétection à une échelle méditerranéenne, à l'image des travaux de Desbois et Vine (1997) sur la télédétection et feux de forêts en zone méditerranéenne, où deux champs d'application sont abordés : la situation avant-feu (estimation et cartographie spatio-temporelle du risque feu de forêt) et la situation après-feu (cartographie de l'incendie et de la reprise végétale et conséquences sur le régime des eaux), ou encore Sebastián-López *et al.* (2002) qui ont travaillé sur l'intégration des données des capteurs satellites, des cartes de type de combustible et des observations météorologiques pour l'évaluation du risque feu de forêt à l'échelle paneuropéenne. Enfin il y a les travaux de Deshayes et Jappiot (2004) portant sur l'apport de la télédétection pour l'évaluation spatio-temporelle du risque feu de forêt.

#### **I.3.2.4. Les feux de forêts et les SIG**

Nous avons recensé beaucoup de travaux et articles portant sur l'apport des systèmes d'informations géographiques (SIG) dans le domaine de la cartographie, l'évaluation et la gestion des feux de forêts.

Dès 1993, Chevrou a démontré le rôle de l'informatique dans l'analyse spatiale et la défense des forêts contre les feux. Chevrou (1994) et Barbier (1994) ont travaillé sur la conception d'un outil logiciel d'aide à la décision dédié à la défense des forêts contre les feux basé sur les SIG. Dagonne *et al.* (1995) ont réalisé une modélisation, grâce au SIG, du risque feu de forêt pour à la mise en œuvre d'un plan de zones sensibles aux incendies à Auribeau-sur-Siagne dans les Alpes-Maritimes.

Concernant l'évaluation et la cartographie du risque feu de forêt avec les SIG, il y a les travaux de Rey (1997) dans les montagnes de Gredos (centre d'Espagne), de Jappiot (1998) dans le massif des Maures (France), de Chuvieco *et al.* (1999) au niveau provincial pour le Portugal, l'Espagne, le Sud de la France, l'Italie et la Grèce, de Varela *et al.* (2003) en Galice (Espagne), de Faour *et al.* (2005) pour le Liban et de Chuvieco *et al.* (2012) pour l'Espagne.

Blanchi *et al.* (2002) et Jappiot *et al.* (2003) ont abordé les différentes approches méthodologiques SIG relatives au risque feu de forêt pour clarifier les concepts, apprécier la multiplicité des besoins existants, analyser les moyens d'évaluation des risques et identifier les données actuellement utilisables, ainsi que les traitements et les systèmes d'information disponibles.

Les SIG ont également été utilisés dans l'analyse spatiale du risque feu de forêt au niveau des interfaces habitat-forêt. On peut citer les travaux de Camia *et al.* (2003) sur l'analyse spatiale de l'interface urbaine et urbaine européenne et leur relation avec le risque et le comportement des feux de forêts. Caballero *et al.* (2007) ont réalisé une étude pour l'identification, la caractérisation et la cartographie des modèles d'interface entre les zones sauvages et urbaines en Espagne et la répartition du risque feu de forêt. En 2009 Lampin-Maillet a étudié la relation entre l'organisation spatiale d'un territoire et le risque feu de forêt au niveau des interfaces habitat-forêt du sud de la France.

Concernant les travaux sur la propagation des feux de forêts, il y a ceux de Tehas Puig et Castellò Vidal (2003) sur l'analyse multicritère appliquée à l'étude du risque de propagation d'un feu de forêt en Espagne, ou encore ceux de Hervas (2005) sur la simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes (France).

Vasconcelos *et al.* (2001) ont développé et validé des modèles pour prédire les probabilités d'allumage spatialement réparties sur les feux sauvages dans le centre du Portugal. Les modèles ont été construits en explorant les relations entre la localisation / la cause de l'allumage et les valeurs des variables géographiques et environnementales en utilisant la régression logistique et les réseaux de neurones. En 2008, une analyse SIG des schémas spatiaux du risque d'inflammation des feux de forêts causés par l'homme dans le sud-est de Madrid a été réalisée par Romero-Calcerrada *et al.* Alors que Long *et al.* (2009) ont travaillé sur l'amélioration de la connaissance des causes des feux de forêts et la mise en place d'une base de données géoréférencées pour la région méditerranéenne française.

### **I.3.2.5. Relation entre feux de forêts et climat**

Sol (1990) a travaillé sur l'estimation du risque météorologique des feux de forêts dans le sud-est de la France. En 1998, Piñol *et al.* ont utilisé une série climatique (1941-1994) des localités méditerranéennes de l'Espagne orientale, entre les provinces de Barcelone et Valence, pour calculer deux indices de risque feux de forêts fondés sur des données météorologiques quotidiennes.

Les travaux de Viegas *et al.* (1999) ont porté sur l'étude comparative de cinq méthodes pour l'évaluation du risque feu de forêt, basées sur des facteurs météorologiques. Elles ont été testées à l'aide de données statistiques sur le nombre quotidien de feu et de zones brûlées de six régions différentes en France, en Italie et au Portugal, pour une période de 3 à 9 ans.

En 2004, Pausas a traité la question de la variabilité interannuelle des feux de forêts et sa relation avec les facteurs climatiques. Pour cela il a analysé les données météorologiques (température et précipitations) de 350 stations couvrant la péninsule ibérique orientale (1950-2000) et les enregistrements des feux de forêts pour la même zone (données historiques, 1874-1968 et données des dernières décennies, 1968-2000).

Carrega et Geronimo (2007) ont procédé par interpolation à une spatialisation de la composante météorologique du risque feu de forêt, en temps réel ou a posteriori, à partir d'un réseau de stations automatiques dans les Alpes-Maritimes (sud-est de la France).

Enfin, Good *et al.* (2008) se sont intéressés aux conditions météorologiques associées au risque élevé et extrême de feu de forêt à long et à court terme en Italie et en Grèce.

### **I.3.2.6. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques**

Leone (1990) et Leone *et al.* (2002) ont étudié les causes socio-économiques et leurs influences anthropiques sur les feux de forêts en Italie. La première étude concerne la région de Bari et la seconde le parc national de Gargano. En 2003, Leone *et al.* ont analysé le facteur humain dans l'évaluation du risque feu de forêt.

Martínez *et al.* (2004) ont analysé les facteurs socio-économiques liés à l'incidence des feux de forêts en Espagne. En 2009 Martínez *et al.* ont évalué le risque feux de forêts causée par l'homme pour la planification de la prévention. L'étude a porté sur une série de données sur

les feux de 13 ans, répartis sur 6066 communes du territoire péninsulaire espagnol et des îles Baléares.

Koulelis et Mitsopoulos (2009) ont réalisé une étude des facteurs socio-économiques influençant l'apparition de feux de forêts. L'objectif était d'examiner les effets des facteurs socio-économiques (densité de population, produit intérieur brut (PIB) et densité du bétail) sur le nombre de feux de forêts et de zones brûlées, au cours de la décennie 1995-2004, dans la plupart des pays du bassin méditerranéen.

Leone *et al.* (2009), Lovreglio *et al.* (2010) et Lovreglio *et al.* (2012) ont appliqué la technique Delphi (processus interactif d'experts-questionnaire) pour améliorer les connaissances sur les motivations des mises à feu dans les provinces les plus touchées en Italie.

### **I.3.3. État de la recherche en Algérie**

#### **I.3.3.1. Recherche sur l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation**

Rebai (1982) a analysé la sensibilité au feu des différentes formations végétales dans la wilaya de Mostaganem, alors que Megrerouche (2006) a évalué la sensibilité au feu de la végétation de la forêt domaniale de Chettabah, localisée au niveau de la wilaya de Constantine. Les tests d'inflammabilité et de combustibilité ont permis de classer les espèces par ordre croissant selon leur sensibilité au feu et de calculer le risque d'incendie.

#### **I.3.3.2. Bilans et statistiques des feux de forêts**

Plusieurs études statistiques sur les bilans des feux de forêts en été réalisées en Algérie. Sur le plan national il y a les travaux de Madoui (2002) sur l'historique des feux de forêts, de Meddour-Sahar *et al.* (2008) sur une période de 132 ans (1876-2007), de Arfa *et al.* (2009) sur l'analyse des feux de forêts et leur impact économique (période 1985-2006) et de Meddour-Sahar et Derridj (2012) sur l'analyse spatiotemporelle des feux de forêts (période 1985-2010).

Sur le plan régional, dans le Nord-Est algérien, on peut citer les travaux de Benderradji *et al.* (2004) dans les wilayas de Skikda, Annaba et El Tarf (période 1990-2000), de Zouadia

(2006) dans les wilayas de Mila, Constantine, Guelma et Souk Ahras (période 1990-2004) et de Merdas (2007) dans les wilayas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj (1985-2004).

### **I.3.3.3. Télédétection et SIG**

De nombreux travaux portant sur l'utilisation de la télédétection et de la géomatique pour la gestion des feux de forêts en Algérie ont été réalisés.

Missoumi *et al.* (2002) ont étudié l'apport des SIG pour la prévention des feux dans la forêt domaniale de Kounteidat, wilaya de Sidi Bel Abbès. Belhadj-Aissa *et al.* (2003) ont décrit le rôle de la télédétection et du SIG dans l'élaboration d'une stratégie appropriée pour la gestion des feux dans la forêt de Bainem, wilaya d'Alger.

Khader *et al.* (2009) ont élaboré une carte du risque feu de forêt à l'aide de la géomatique pour la forêt de Nesmoth, située dans la wilaya de Mascara. Bouaninba (2010) a modélisé et cartographié, en se basant sur une étude scientifique utilisant les nouvelles technologies des SIG et de l'imagerie satellitaire, le risque feu de forêt au niveau de la forêt domaniale de Chettabah, wilaya de Constantine.

Guettouche *et al.* (2011) ont réalisé une modélisation et une spatialisation du risque feu de forêt par SIG pour la forêt de Bouzareah à Alger. Kebir et Abbas (2011) ont démontré, à travers le cas de la wilaya de Tlemcen, l'apport de l'imagerie Alsat-2A, pour l'identification, la gestion des aménagements forestiers et le suivi des feux de forêts en Algérie.

Enfin, Hachemi (2014) a travaillé sur l'apport de la géomatique dans la protection des forêts contre les feux, cas de la forêt Fenouane d'Ain El Hdjar, wilaya de Saida.

### **I.3.3.4. Liens entre feux de forêts et actions anthropiques**

En Algérie, seuls 2 travaux traitants la question du rôle de l'action anthropique dans les feux de forêts, ont été recensées. Le premier est celui de Guerbah (1992) sur les causes originelles et la prévention des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf. Le second est celui de Meddour-Sahar (2014) sur l'analyse du risque, l'étude des causes, l'évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion des feux de forêts en Algérie.

# *Chapitre III*

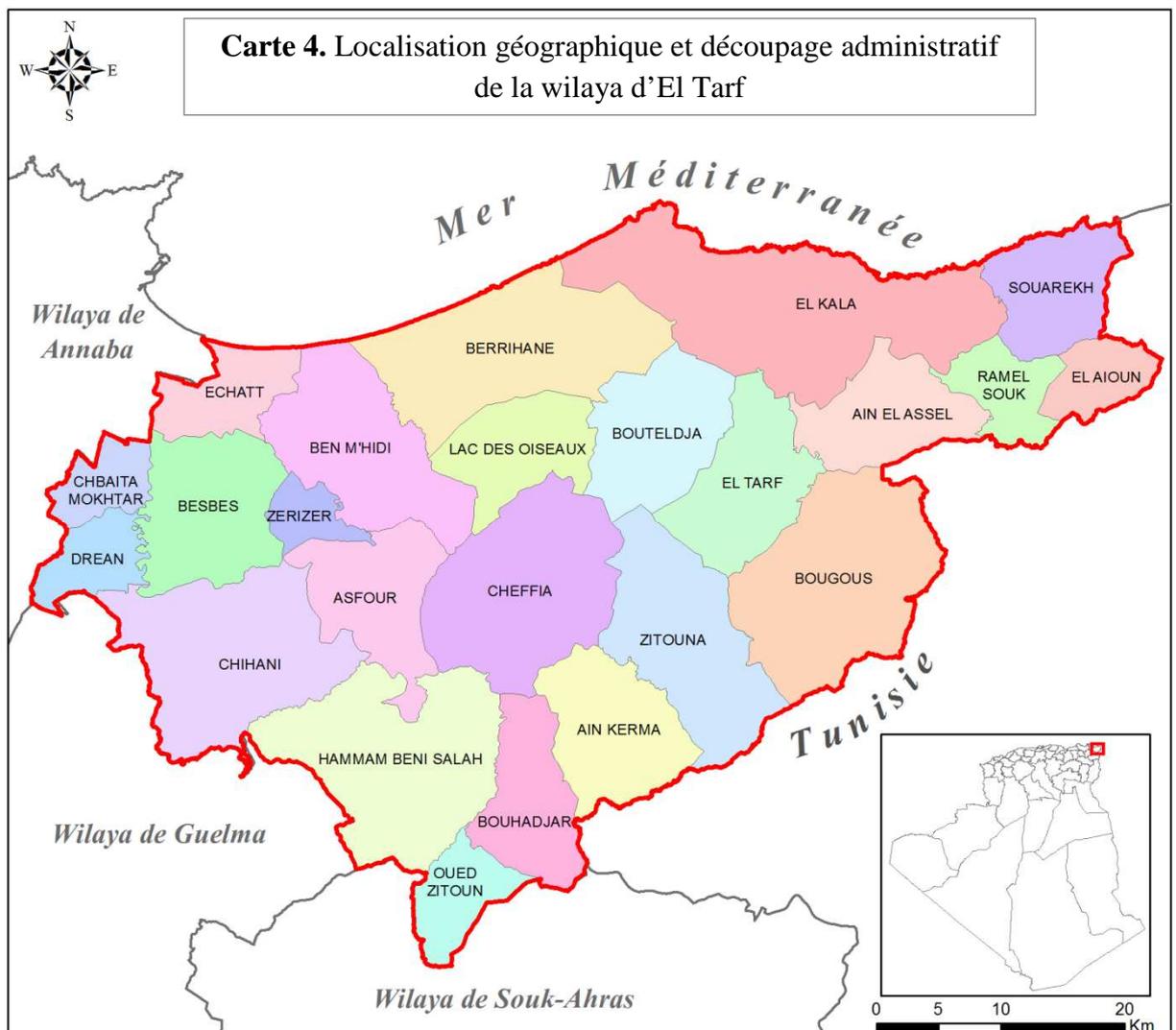
*Eco-géographie de la wilaya  
d'El Tarf*

## Chapitre II : Éco-géographie de la wilaya d'El Tarf

### II.1. Situation géographique

Située à l'extrême nord-est de l'Algérie, la wilaya d'El Tarf est comprise entre les parallèles 36°23'25" et 36°57'7" de latitude Nord et 7°39'49" et 8°40'52" Est des longitudes. Issue du découpage administratif de 1984, elle s'étend sur une superficie de 2882,03 km<sup>2</sup> et comprend 24 communes. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la frontière algéro-tunisienne, à l'ouest par la wilaya d'Annaba, au sud-ouest par la wilaya de Guelma et au sud par la wilaya de Souk Ahras (Carte 4).

Le littoral s'ouvre sur une large façade maritime orientée est-ouest, rectiligne en général, mais sinueuse localement avec un linéaire d'environ 90 km.



## **II.2. Les grands traits du cadre physique**

### **II.2.1. Topomorphologie**

La topographie de la wilaya d'El Tarf s'intègre, globalement, dans les reliefs de l'extrémité nord-est de la chaîne tellienne algérienne. Ce sont des reliefs qui s'organisent, généralement, suivant la direction NE-SO, comme il arrive de voir, secondairement et localement, des directions opposées.

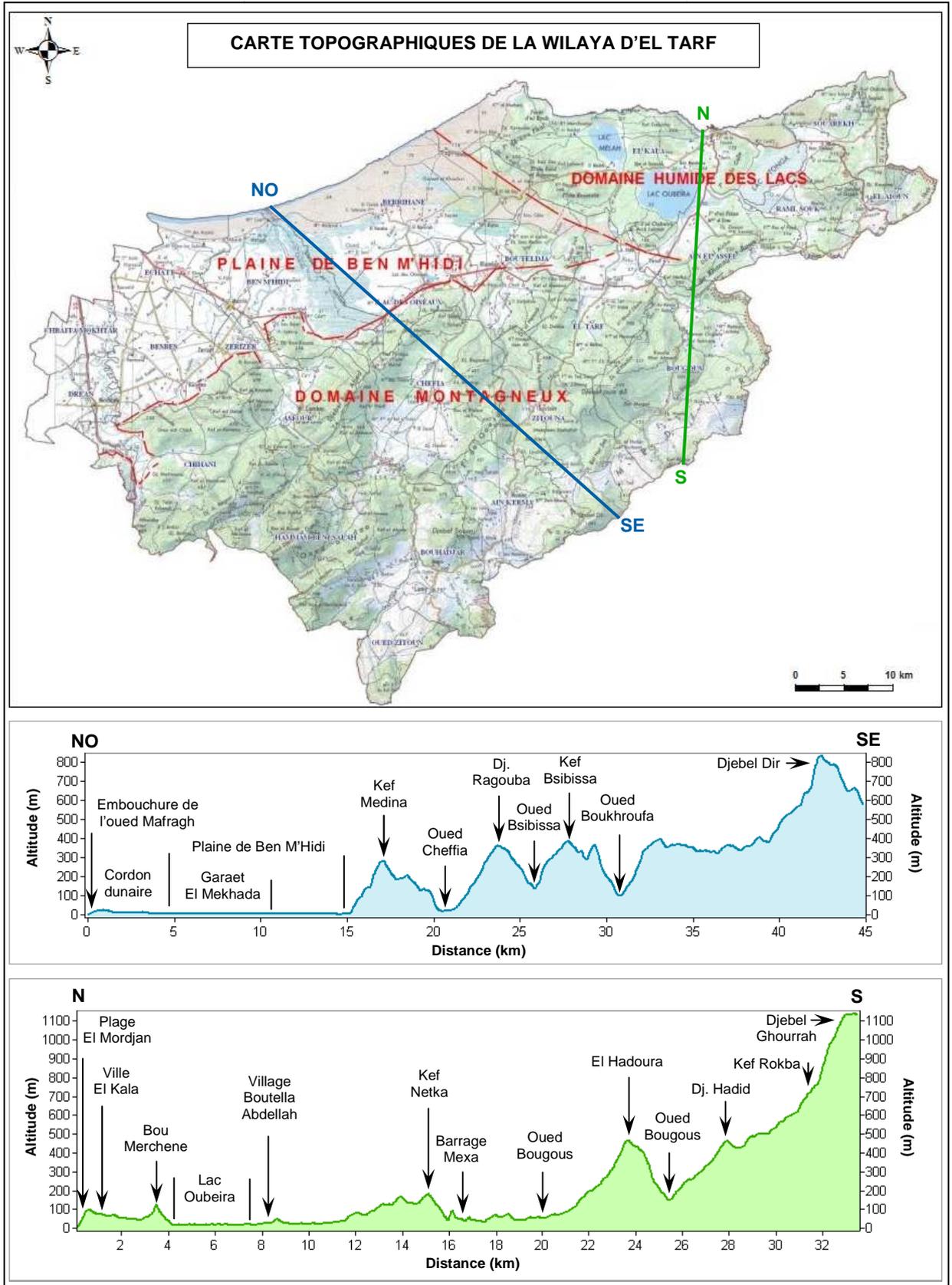
Le territoire de cette wilaya est caractérisé par un relief très accidenté dans sa plus grande partie au sud et par sa simplicité et sa platitude relative dans sa partie nord, à proximité de la mer. Le caractère accidenté du domaine montagneux relève, en plus des altitudes absolues, qui, souvent dépassent les 500 m, aux fortes dénivellations et les fortes pentes. Les dénivellations dans ce secteur sont généralement supérieures à 300 m entre les bas fonds d'oueds et le haut des reliefs (Carte 5).

Les pentes sont très fortes au niveau de la montagne (>25%), moyennes sur les bas reliefs, faibles au niveau de certaines collines et cordons dunaires littoraux (3-12,5%) et très faibles (<3%) au niveau des plaines et des vallées ouvertes vers la mer (M.A.T.E., 2010).

### **II.2.2. Principaux ensembles topographiques**

L'analyse détaillée des reliefs de cette wilaya permet de suivre les grands traits de leur organisation et d'identifier la présence de trois grands ensembles topographiques :

- l'ensemble de la plaine de Ben M'Hidi et de ses vallées ;
- l'ensemble montagneux ;
- l'ensemble collinaire et des bas reliefs frontaliers.



Carte 5. Carte et coupes topographiques des principaux ensembles de la wilaya d'El Tarf.

### **II.2.2.1. L'ensemble de la plaine de Ben M'Hidi et ses vallées affluentes**

C'est un ensemble formé, en plus de la plaine de Ben M'Hidi, d'une série de vallées affluentes évasées qui perdent leur capacité de transport et d'alluvionnement dès leur arrivée dans cette plaine. Parmi ces principales vallées, nous citons, celles des oueds Bou Atallah et Besbès à l'ouest, Bou Namoussa au centre et Bou Latane à l'est qui forment et qui débouchent en mer grâce au chenal de l'oued Mafragh. Un chenal qui traverse le grand cordon dunaire de Berrihane, orienté est-ouest. Ajoutons à ces vallées, celle de l'oued Seybousse qui débouche aussi dans cette plaine et qui forme une partie de la frontière ouest de la wilaya d'El Tarf avec celle d'Annaba (Carte 5).

L'ensemble de Ben M'Hidi est structuré en trois sous ensembles : la plaine de Ben M'Hidi, le cordon dunaire de Berrihane et les lacs. Chaque sous ensemble possède ses propres caractères topographiques et ses propres spécificités morphologiques (M.A.T.E., 2010).

#### **a) La plaine de Ben M'Hidi**

C'est une plaine qui prolonge celle d'Annaba à l'ouest, elle est donc assez longue d'est en ouest (environ 50 km), mais d'une largeur moyenne de l'ordre de 10 km du nord au sud. Il s'agit d'une plaine alluviale où les phénomènes d'hydromorphie et d'engorgement des sols sont très fréquents, d'autant plus que cette zone est sujette à la formation de lacs ou de marécages. Cette situation est liée au fait que la plaine de Ben M'Hidi soit encadrée par le domaine montagneux au sud et à l'est et le cordon dunaire au nord. C'est un bassin qui correspond à une plaine évasée et traversée d'est en ouest par plusieurs oueds dont l'orientation est sud-nord, exemple des oueds Seybousse, Bou Namoussa et Cheffia (Carte 5).

#### **b) Le cordon dunaire**

Le cordon dunaire de ce secteur, appelé Berrihane, est très développé, il représente pour la plaine de Ben M'Hidi un véritable obstacle pour les oueds venant du sud et pour la houle et les vents du nord. L'orientation des dunes (NE-SO) est liée à la dynamique des houles et la prédominance des vents NO-SE. L'altitude des dunes est variable, elle va de 10 à 15 m à l'ouest, 60 à 80 m au centre et 90 à 120 m à l'est (Carte 5). Cette situation démontre bien l'engraissement sableux dans cette zone, qui se traduit sur le terrain par l'importance des dunes et de la masse des sables, souvent fixés par la végétation.

### **c) Les lacs et marécages**

Constitué d'une série de lacs, ce système est formé du grand lac de Garaet El Mekhada au centre-nord de la plaine de Ben M'Hidi, du lac des oiseaux au niveau du piémont au sud et des petits lacs développés autour de Garaet El Khoubzi à l'est de la même plaine. Ce sont des lacs dont la superficie dépend de l'importance de la pluviométrie annuelle et du débit des oueds venant du domaine montagneux au sud (Carte 5).

#### **II.2.2.2. L'ensemble montagneux**

C'est un ensemble qui représente plus de 50% de la superficie de cette wilaya et constitue l'essentiel de ses paysages morphologiques. C'est un territoire accidenté où les reliefs sont assez hauts, particulièrement à l'est, au niveau de la zone frontalière et au sud et sud-ouest en allant vers les wilayas limitrophes de Souk Ahras et Guelma. Cela est dû à l'importance et à la grande variabilité des altitudes absolues, souvent supérieures à 600 m, et aux fortes pentes (>25%) et aux fortes dénivellations entre le haut des reliefs et le bas fond des oueds (Carte 5). La topographie de ce domaine est tourmentée, elle est parfois à caractère montagnard, tandis qu'une large partie porte le caractère de reliefs piémontais ou localement collinaires (M.A.T.E., 2010).

#### **II.2.2.3. L'ensemble collinaire et des bas reliefs frontaliers**

Cet ensemble concerne tous les reliefs frontaliers développés au nord-est de la wilaya d'El Tarf où s'encaisse une série de lacs (Tonga, Oubeïra et Mellah) et où se situe la majeure partie du parc national d'El Kala. Ce sont des reliefs qui jouent le rôle, d'une part, de liaison entre le littoral au nord et le domaine montagneux au sud et d'autre part, de liaison entre la plaine de Ben M'Hidi à l'ouest et les reliefs frontaliers algéro-tunisiens à l'est. Ce domaine couvre une superficie équivalente à 20% environ de la superficie totale de la wilaya.

C'est un écosystème particulier, il se caractérise par ses reliefs où l'altitude est souvent faible à modérée, elle varie de 200 à 400 m, ex : de Kef Trebiche (256 m) et de la croupe d'El Kala à caractère collinaire, quasiment couverte par la forêt où l'altitude culmine à 175 m. Cette zone prend de l'altitude à la frontière avec la Tunisie, mais ne dépassant pas les 600 m, ex :

des reliefs développés autour de Djebel Addeda qui culminent à 594 m au Djebel Kourine. A l'ouest de Djebel Kourine et en descendant vers le lac Tonga, le relief reprend de l'altitude avec Kef Dahiret El Guelat où l'altitude varie de 315 m au nord à 513 m au sud (Carte 5).

Cet ensemble se caractérise aussi par la présence d'une ouverture au nord, développée entre les reliefs littoraux de Kef Trebiche à l'ouest et Djebel Seglab à l'est. Cette ouverture, grâce à la présence d'un remplissage dunaire, se trouve à une altitude de l'ordre de 101m. C'est aussi grâce à ce cordon dunaire que le lac Tonga a pu s'encaster entre les reliefs de cette zone frontalière. Toutefois, ce lac trouve trois voies de communication naturelle : deux au nord, vers la mer, grâce aux anciens chenaux d'oueds et un à l'ouest pour communiquer avec le lac Oubeïra. Ces reliefs constituent avec Kef Trebiche au nord et les reliefs frontaliers d'Oum Teboul à l'est et le domaine montagneux au sud une topographie idéale pour la formation de petites dépressions dans lesquelles se sont installés les lacs de cette zone (M.A.T.E., 2010).

### **II.2.3. Géologie**

La géologie de la wilaya d'El Tarf se résume grossièrement dans les terrains telliens à la limite du domaine interne des Maghrébides formant l'essentiel du littoral Est algérien. Il s'agit d'une région formée essentiellement de terrains secondaires et tertiaires surmontés par des formations néogènes et quaternaires. Ce territoire occupe la marge Est du domaine interne qui n'affleure que dans la région d'Annaba, en dehors de la wilaya d'El Tarf. Ceci dit que l'ensemble du territoire d'El Tarf appartient au domaine tellien externe où affleurent plusieurs sous unités nappées.

Ainsi, l'histoire géologique de cette wilaya ne débute qu'à partir du Trias et où se développent, principalement, les formations crétacées et oligo-éocènes et marginalement les affleurements miocènes et plio-quaternaires. En effet, cette région est développée juste à la limite Est et sud-est de l'accident délimitant par le sud les terrains appartenant au domaine interne.

L'examen des conditions géologiques, révèle quant à lui l'existence de terrains fragiles dominés par des formations argileuses ou argilo-marneuses et flyschoids localement, ce qui se traduit sur le terrain par l'importance des phénomènes érosifs, surtout ceux relatifs aux ravinements et aux mouvements de terrains. Ceci sans oublier les terrains gréseux où les phénomènes érosifs sont moins frappants que les terrains argileux (M.A.T.E., 2010).

#### **II.2.4. Lithologie et sols**

Dans le domaine montagneux, ce sont surtout les terrains argileux et gréseux qui prédominent les paysages, suivis de faciès flyschoids argilo gréseux et secondairement par les argiles rouges ou grises, les conglomérats et les terrains sablonneux et localement par les calcaires. Pour le domaine collinaire au nord-est, ce sont les terrains argileux et gréseux qui se maintiennent dans les paysages autour des lacs, mais où les dunes font apparition sur la marge littorale.

Quant aux formations dominantes dans la plaine de Ben M'Hidi, nous relevons la présence d'épaisses formations alluvionnaires avec des niveaux argilo-sablo-conglomératiques, mais la présence de niveaux argileux permet le développement de marécages et de sols hydromorphes, d'autant plus qu'il s'agit là d'un milieu humide où la pluviométrie dépasse les 1000 mm en moyenne annuelle.

Les sols les plus répandus dans la wilaya d'El Tarf, particulièrement à l'est et au sud sont les sols podzoliques, développés autour des lacs littoraux et sur les terrains montagneux et forestiers tout le long de la frontière tunisienne et sur les terrains limitrophes avec la wilaya de Souk Ahras. Ce sont des sols à travers lesquels sont développés localement des sols calcaires ou des sols insaturés. Comme il existe des sols dunaires le long de la bande littorale, particulièrement à l'ouest et au centre de cette marge méditerranéenne. En outre, cette zone est connue pour son climat humide et ses nombreux lacs autour desquels sont développés des sols de marais et des sols salins de type solontchak ou solonetz (M.A.T.E., 2010).

#### **II.2.5. Réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique de la wilaya d'El Tarf est très singulier par rapport au reste des régions telliennes, il se distingue par la présence d'un grand nombre de lacs et de marécages développés sur la partie basse de cette wilaya. Ils sont tous développés dans la plaine de Ben M'Hidi et localement à travers les reliefs collinaires de l'extrémité nord-est de cette wilaya, à la frontière tunisienne. Cependant, à l'exception des oueds débouchant dans les lacs, la totalité du réseau hydrographique de cette wilaya s'écoule vers la mer méditerranée (M.A.T.E., 2010).

### II.2.5.1. Les oueds

L'ensemble du territoire de la wilaya d'El Tarf est drainé par plusieurs oueds principaux :

- **l'oued Seybousse** qui coule uniquement dans la partie ouest, entre Dréan au nord et Chihani au sud ;
- **l'oued Mafragh** : draine la majeure partie des oueds de la région et constitue une gouttière et une zone de confluence pour :
  - **l'oued Bou Namoussa** qui draine le plus important bassin versant de la wilaya en recevant l'oued El Kébir avec ses principaux affluents, comme les oueds M'Kouk et l'oued Bou Hadjar. Notons ici qu'il existe dans la wilaya d'El Tarf deux oueds qui portent le même nom, il s'agit de l'oued El Kébir (Ouest), affluent de l'oued Bou Namoussa et l'oued El Kébir (Est), le plus important, celui qui draine la partie Est et sud-est de la wilaya ;
  - **l'oued Cheffia** qui change de nom à l'aval du domaine montagneux en portant le nom d'oued Bou Latane aux environs de Bouteldja. C'est un oued nettement plus petit que celui de Bou Namoussa, mais il reste très important sur le plan des eaux drainées ;
  - **l'oued El Kébir (Est)**, dont la direction principale est est-ouest, draine la majeure partie des oueds provenant du sud-est et est de la wilaya.

### II.2.5.2. Les lacs et marais

- **Lac Tonga**

C'est un lac d'eau douce permanent, couvrant une superficie de 2600 ha, il joue un rôle important dans la maîtrise des crues en période hivernale, par le captage des sédiments et des matières arrachées par les crues en amont et charriées vers le lac et la stabilisation des dunes littorales (Photo 1).

- **Lac Oubeira**

Situé entre les lacs Mellah et Tonga, d'une superficie de 2200 ha et de forme subcirculaire, c'est un lac endoréique, d'eau douce, permanent. Il est en forme de cuvette à fond plus ou moins plat légèrement incliné vers le nord, d'origine naturelle ayant une profondeur maximale de 4 m (Photo 2). Il joue un rôle de réservoir permettant la maîtrise des

crues parfois spectaculaires, de l'oued El Kébir et constitue un réservoir de dépôt des sédiments provenant du bassin versant et charriés par les eaux de crues.



**Photo 1.** Lac Tonga.



**Photo 2.** Lac Oubeira.

- **Lac Mellah**

C'est une lagune reliée à la mer par un chenal artificiel long de 900 m. D'une superficie de 860 ha, elle s'étend sur 04 km de long et 2,5 km de large, d'une profondeur maximale de 6 m et d'une profondeur moyenne de 2,5 m (Photo 3).



**Photo 3.** Lac Mellah.

- **Lac Bleu**

Le lac Bleu, situé sur la berge Est du Mellah, est une dépression inter-dunaire d'eau douce de 4 ha, alimentée par la remontée de la nappe phréatique et des eaux de pluies qui s'infiltrent à travers les sables des dunes qui l'entourent (Photo 4).

- **Lac des Oiseaux**

C'est un lac d'eau douce d'une superficie de 120 ha en période hivernale et 70 ha en période sèche.



**Photo 4.** Lac Bleu.

- **Marais de la Mekhada**

Le marais de la Mekhada est bordé au nord, par des dunes littorales le séparant de la mer Méditerranée, et au sud, par les massifs argileux et forestiers de la Cheffia. C'est une zone humide palustre, occupant les parties basses de la cuvette de remplissage alluvionnaire et colluvionnaire de la plaine de la Mafragh alimenté par les oueds Bou Namoussa et El Kébir, ces eaux sont douces, à l'exception de sa partie avale, dont les eaux sont saumâtres en raison du contact à l'embouchure avec la mer Méditerranée.

- **L'aulnaie de Aïn Khiar**

L'aulnaie de Aïn Khiar se situe entre le cordon dunaire littoral et la plaine agricole d'El Tarf, avec une superficie de 50 ha, elle reçoit, en hiver les eaux des crues de l'oued El Kébir qui draine toute la région, et se transforme en zone marécageuse. Faisant partie de la basse plaine, elle reste parfois inondée même en période estivale, surtout quand les pluies tardives tombent en avril-mai.

### II.2.5.3. Les barrages et retenues collinaires

Les barrages actuellement en exploitation dans la wilaya d'El Tarf sont au nombre de deux :

- **Le barrage de Cheffia** sur l'oued Bou Namoussa, il contrôle un bassin versant de 579 km<sup>2</sup>.
- **Le barrage de Mexa** sur l'oued El Kébir Est, il contrôlait initialement un bassin d'une superficie de 560 km<sup>2</sup>, ramené à 393 km<sup>2</sup> après la construction d'un barrage sur l'oued Barbara en Tunisie et réduit à 158 km<sup>2</sup> après la réalisation du barrage Bougous.

La wilaya d'El Tarf compte 12 retenues collinaires réalisées en majorité durant les années 80, dans le cadre d'un programme de petite et moyenne hydraulique, totalisant ainsi une capacité de 2762 hm<sup>3</sup>.

## II.3. Conditions climatiques et bioclimatiques

L'estimation des paramètres climatiques de la wilaya d'El Tarf est faite en utilisant les données observées par le réseau climatologique de l'A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) et de l'O.N.M. (Office National de Météorologie).

### II.3.1. Pluviométrie

La région de l'extrême Nord-Est de l'Algérie compte parmi les plus abondamment arrosées 1300 mm/an. La pluviosité dans cette région est conditionnée par deux phénomènes météorologiques importants. D'une part, les perturbations cycloniques d'origine atlantique de l'ouest et du nord-ouest qui, après avoir traversé l'Espagne et une partie de la Méditerranée Occidentale, affectent le Nord-Est algérien et d'autre part les dépressions qui prennent naissance en Méditerranée Occidentale.

Une des caractéristiques de la pluviosité dans la région réside dans sa grande variabilité annuelle (Figure 20), saisonnière et mensuelle, c'est une caractéristique du climat méditerranéen avec une concentration de la totalité des précipitations sur quelques mois de l'année, de novembre à avril au cours desquels, les précipitations gagnent sur l'évaporation.

Une saison sèche de mai à octobre, où les précipitations sont déficitaires par rapport à l'évaporation et le minimum annuel s'observe toujours en juillet-août (Figure 21).

Il est observé des pluies abondantes en hiver qui diminuent presque régulièrement au printemps et parfois quelques millimètres par mois pendant la période d'été. La partie Est de la wilaya (El Kala et Ain El Assel) est plus humide et pluvieuse que la partie Ouest où la hauteur pluviométrique annuelle dépasse les 800 mm (M.A.T.E., 2010).

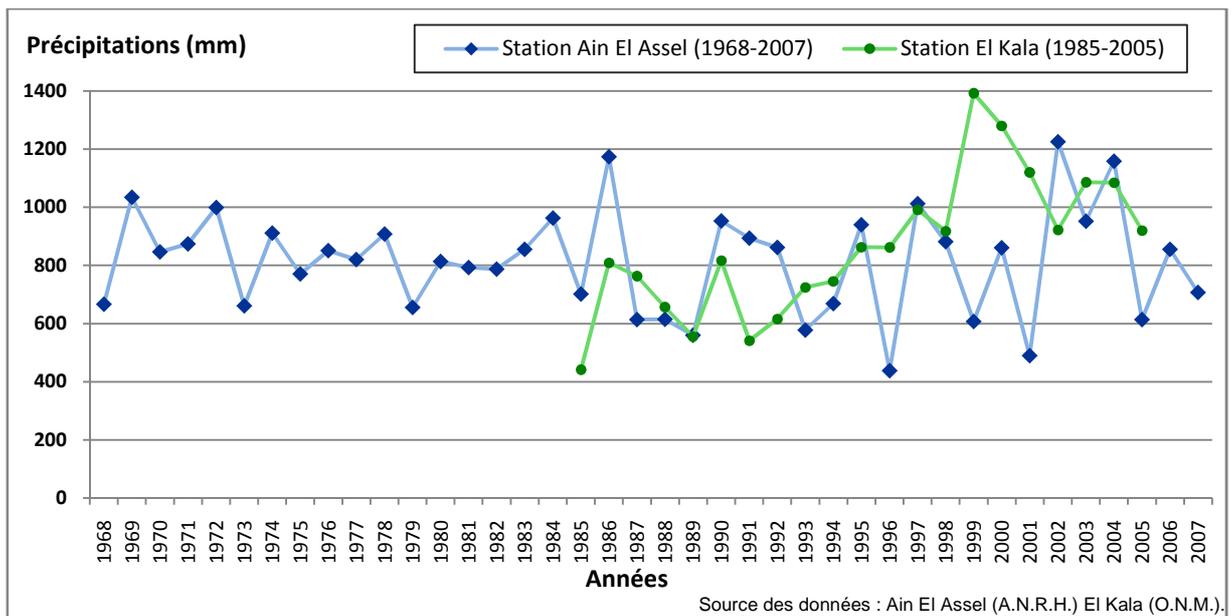


Figure 20. Variation des précipitations annuelles des stations Ain El Assel et El Kala.

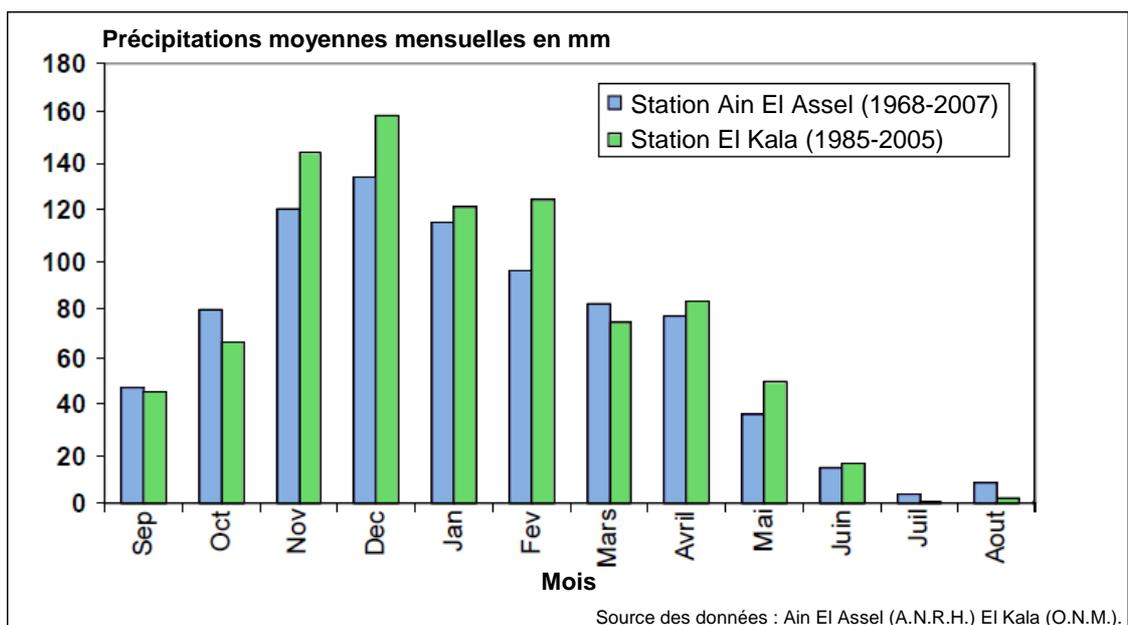


Figure 21. Précipitations moyennes mensuelles des stations Ain El Assel et El Kala.

### II.3.2. Humidité relative de l'air

Le degré d'hygrométrie est très élevé et presque constant durant toute l'année. La variation de l'humidité d'une année à une autre est très faible. Plusieurs facteurs influent sur ce paramètre : la proximité du littoral, mais aussi la présence d'une surface importante des forêts et surtout de nombreuses zones humides parmi lesquelles les aulnaies qui exercent une influence prédominante.

Il est enregistré une humidité de l'air supérieure à 70% y compris en été avec une moyenne annuelle de 75% à El Kala (M.A.T.E., 2010).

### II.3.3. Températures

La température moyenne interannuelle dans la wilaya d'El Tarf varie entre 10°C et 18°C. Saisonnièrement, elle varie de 12°C pendant la période hivernale jusqu'à 28°C pendant la période estivale (juillet août). Le paramètre température est fonction de l'altitude, de la distance de la mer, et de la position topographique. À mesure que l'on s'éloigne de la mer, les températures annuelles moyennes s'abaissent. Cette régression thermique s'explique par le rôle régulateur de la mer, et des zones humides de la wilaya. Dans la zone montagneuse, les températures varient suivant le gradient altitudinal (M.A.T.E., 2010).

Les températures moyennes annuelles (moyenne des maxima et moyenne des minima par mois) enregistrées à la station météorologique d'El Kala, entre 1985 et 2005, sont présentés dans le tableau 6.

**Tableau 6.** Températures moyennes mensuelles (station El Kala 1985-2005).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	$\bar{X}$
<b>Tmax</b>	13.3	15.2	16.6	17.3	19.9	23.9	26.3	27.9	27.8	25.2	20.1	15.7	20.7
<b>Tmin</b>	6.2	7.4	10.5	12.6	15.5	16.7	20.1	21.8	21.0	18.6	16.9	9.8	14.7
<b>Tmoy</b>	9.7	11.3	13.5	14.9	17.7	20.3	23.2	24.8	24.4	21.9	18.5	12.7	17.7

Tmax : Température moyenne des maxima

Tmin : Température moyenne des minima

Tmoy : Température moyenne mensuelle

$\bar{X}$  : Température moyenne annuelle

Source des données : O.N.M.

### II.3.4. Vents

Pendant la saison froide, les vents de direction nord-ouest prédominent. Durant la saison chaude, la vitesse des vents s'affaiblit, elle atteint 9 m/s au mois d'août, le vent souffle alors du nord-est en donnant une brise de mer importante. Ce sont les vents du nord-ouest qui apportent les précipitations les plus importantes venues de l'Atlantique, lorsque les hautes pressions au large des Açores ont cédé le pas aux basses pressions venues de l'Atlantique. Pendant la saison estivale intervient également le sirocco : vent d'origine saharienne qui souffle parfois de mai à octobre. Venant du sud-ouest, il peut survenir 14 jours par an, le maximum de journées étant enregistré en août, à raison de 3 jours en moyenne. Ce Sirocco assèche l'atmosphère et favorise, avec les températures élevées, les feux de forêts (M.A.T.E., 2010).

### II.3.5. Étages bioclimatiques

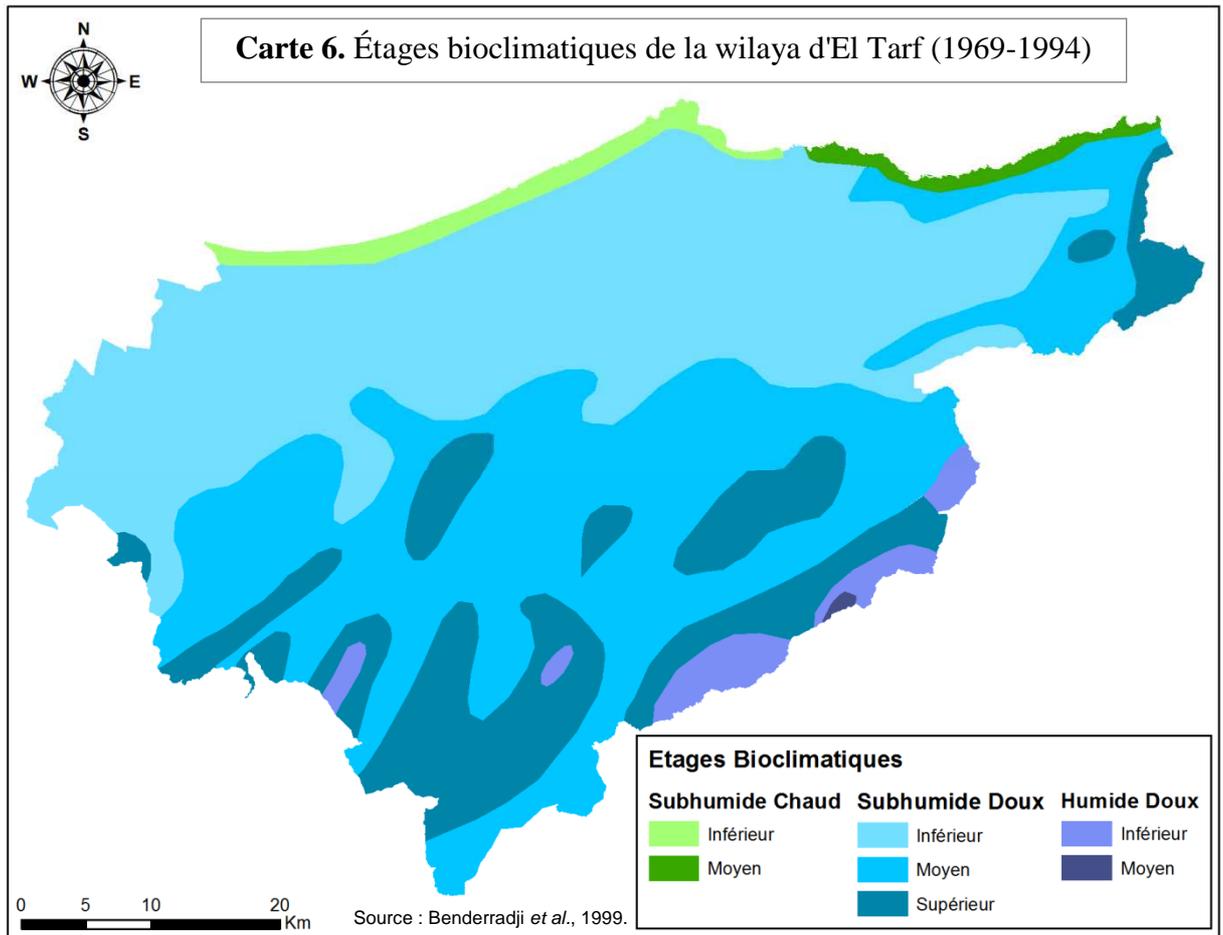
D'après Emberger (1936), l'étage climatique correspond à l'étage de végétation, en effet, ce dernier n'est qu'un paysage réel du climat « La parenté des climats crée la parenté des groupements. Les groupements végétaux appartenant à un même étage forment un ensemble écologique, bien que les genres d'une même famille constituent une unité systématique ». Dans la wilaya d'El Tarf, il y a deux étages bioclimatiques : l'humide et le subhumide (Carte 6).

#### II.3.5.1. Étage bioclimatique humide

Il est divisé en deux sous-étages :

- l'un inférieur, avec une moyenne annuelle des précipitations variant entre 900 et 1000 mm, une température minimale moyenne du mois le plus froid comprise entre 4,5 et 4°C et un déficit hydrique de l'ordre de 150 à 50 mm par an ;
- l'autre, moyen, caractérisé par des précipitations annuelles supérieures à 1000 mm, une température moyenne annuelle du mois le plus froid inférieure à 4°C et un déficit en eau inférieur à 50 mm par an. Ce sous-étage domine particulièrement les zones montagnardes dépassant les 900 m d'altitude.

Floristiquement, la présence de la série du chêne zéen est marquée par l'abondance des aérohygrophiles en liaison avec les condensations des brouillards orogéniques ; fougères, mousses et lichens (Benderradji *et al.*, 1999).



### II.3.5.2. Étage bioclimatique subhumide

Il est divisé en cinq sous-étages :

- **les sous-étages inférieur et moyen chauds** : du point de vue climatique, ces deux sous-étages sont caractérisés par une moyenne annuelle des précipitations inférieure à 700 mm, une température moyenne minimale du mois le plus froid supérieure à 7°C et un déficit hydrique supérieur à 250 mm. Du point de vue végétation, ils présentent la série du genévrier de phoenicie et celle du chêne kermès ;
- **le sous-étage inférieur doux** : il reçoit une moyenne annuelle de précipitations inférieure à 700 mm, une température moyenne minimale du mois le plus froid comprise entre 7 et 6°C et un déficit en eau supérieur à 250 mm par an. Les séries caractérisant ce sous-étage sont : la série du chêne liège et la série à oléo-lentisque ;
- **les sous-étages moyen et supérieur doux** : ils reçoivent une moyenne pluviométrique annuelle comprise entre 700 et 900 mm, une température moyenne minimale du mois le plus froid variant entre 6 et 5°C et un déficit en eau inférieur à 150 mm par an dans la partie Est de la région et inférieur à 50 mm dans la partie Ouest (Benderradji *et al.*, 1999).

## **II.4. Contexte démographique, économique et social**

### **II.4.1. Données démographiques**

D'après les résultats du dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (R.G.P.H) de 2008, la population de la wilaya d'El Tarf est de 408.452 habitants et représente 1,2% de la population algérienne. La répartition des habitants est par contre très inégale. Les communes situées en zone de plaine représentent en effet, 70% de la population de la wilaya et les communes de montagne 30% (M.A.T.E., 2010).

La population de la wilaya d'El Tarf vieillit plus vite que sur l'ensemble du territoire national. Lorsqu'on compare la pyramide des âges de la population de la wilaya d'El Tarf avec celle de la population algérienne, on constate un déficit prononcé sur les classes d'âge des jeunes (moins de 25 ans), et une surreprésentation des classes d'âges adultes (relativement) élevées.

#### **II.4.1.1. Évolution de la population de 1966 à 2008**

En 2008, la population de la wilaya d'El Tarf a augmenté de 230% depuis 1966, à l'image de celle du pays sur la même période. Cette progression n'est pas linéaire et cache des disparités importantes. Ainsi, entre 1966 et 1977 la progression a été de 44,5%, de 1977 à 1987 de 53,9%, de 1987 à 1998 de 28,3% et enfin sur la dernière période de 1998 à 2008 de 15,8%.

En ce qui concerne les communes de la wilaya, la progression démographique est variable. En proportion, ce sont les communes d'El Tarf, d'Echatt et de Zerizer qui ont connu la plus forte croissance puisqu'elles ont plus que quadruplé leur population en 40 ans. La croissance démographique la plus faible concerne les communes d'Ain Kerma et de Hammam Béni Salah. Dans les autres communes l'accroissement démographique se situe aux alentours de 200%.

Dans la majeure partie des communes, le développement s'est opéré entre 1977 et 1987, exception faite des communes Hammam Béni Salah et Oued Zitoun dans lesquelles la progression démographique la plus importante a eu lieu entre 1966 et 1977 (Tableau 7).

**Tableau 7.** Évolution de la population de la wilaya d'El Tarf entre 1966 et 2008.

Dispersion	Recensements				
	1966	1977	1987	1998	2008
El Tarf	5 082	7 679	13 969	20 362	25 594
Bouhadjar	6 467	7 476	12 532	16 385	20 215
Ben M'hidi	4 814	12 829	20 293	28 399	33 262
Bougous	3 804	7 171	9 036	10 576	11 272
El Kala	10 041	13 037	19 572	24 793	28 411
Ain El Assel	4 780	6 606	9 859	12 482	16 285
El Aioun	1 866	2 375	3 590	4 591	5 347
Bouteldja	5 131	7 105	11 484	15 275	17 738
Souarekh	3 180	4 085	6 076	7 457	8 173
Berrihane	3 185	4 630	6 908	8 326	9 605
Lac des Oiseaux	3 367	4 643	7 553	9 320	10 624
Cheffia	3 324	4 884	6 248	7 450	8 195
Dréan	8 341	15 269	25 773	32 066	37 686
Chihani	2 832	5 946	7 987	9 234	10 094
Chebaita Mokhtar	5 011	8 159	16 498	20 913	23 135
Besbes	20 453	20 734	34 279	43 007	46 341
Asfour	4 411	5 902	8 865	10 632	11 447
Echatt	4 331	12 087	17 716	26 758	34 378
Zerizer	1 825	4 597	7 969	10 105	11 064
Zitouna	2 565	4 576	6 350	8 367	9 736
Ain Kerma	11 890	8 824	10 707	12 182	14 377
Oued Zitoun	2 549	3 623	4 260	5 321	5 881
Hammam Béni Salah	2 717	4 009	4 397	4 871	5 235
Raml Souk	1 658	2 368	2 931	3 715	4 356
<b>Total wilaya</b>	<b>123 624</b>	<b>178 614</b>	<b>274 852</b>	<b>352 587</b>	<b>408 452</b>

Source : R.G.P.H. 1966, 1977, 1987, 1998 et 2008.

#### II.4.1.2. Densité de la population

La densité de population de la wilaya d'El Tarf (140 habitants au km<sup>2</sup>) est près de 10 fois supérieure à la moyenne du pays (15 habitants au km<sup>2</sup>). Si la densité moyenne est en nette évolution, les déséquilibres de peuplement opposent une périphérie de montagnes au Sud où les problèmes d'enclavement et de structuration de l'espace s'opposent toujours à une zone de plaines au Nord, accueillant tous les éléments dynamiques (grandes infrastructures routières, grands centres urbains, bonnes terres agricoles...) et qui concentre 70,3% de la population sur 47,8% du territoire.

### **II.4.2. Typologie des logements**

La wilaya d'El Tarf se distingue par une forte proportion de maisons individuelles. Elles représentent les 2/3 de l'ensemble des logements. Cette prépondérance des logements individuels dans le parc de logements habités est liée à la ruralité originelle du territoire, à la faiblesse des pôles urbains, au vaste mouvement de construction de lotissements et d'un habitat épars en milieu rural et périurbain (M.A.T.E., 2010).

### **II.4.3. Population active et chômage**

En 2009, la population active de la wilaya ayant un emploi est de 125.243 actifs et le taux d'activité est de 34,3%. La population active est inégale dans les communes de la wilaya. Ainsi, cinq communes enregistrent un taux d'actifs supérieur à la moyenne de la wilaya : El Kala, Berrihane, Souarekh, El Tarf et Chihani qui connaissent une augmentation de leurs actifs due principalement à l'effet des migrations. A l'inverse, à Bougous, Oued Zitoun et Ain Kerma le taux d'activité est inférieur de - 3,5 à - 6,1 points à la moyenne de la wilaya.

Sur l'ensemble de la wilaya, hormis les communes de Bouteldja, Bougous, Chebaita Mokhtar, Cheffia et Lac des oiseaux, la situation de la population active vis-à-vis de l'emploi est relativement bonne. En moyenne, le taux d'emploi de la population active est autour de 88%.

En 2009, la wilaya d'El Tarf comptait 17.145 chômeurs soit un taux de chômage de 12%. A l'échelle des communes de la wilaya le taux de chômage est très inégal. Il oscille entre 8,5% à Chihani et 17% à Lac des oiseaux où le taux de chômage est supérieur de 5 points à celui de l'ensemble de la wilaya. La part des chômeurs est supérieure à la moyenne de la wilaya dans neuf communes : Lac des oiseaux, Cheffia, Chebaita Mokhtar, Bougous, Bouteldja, Zitouna, Echatt, Dréan et Asfour alors que dans le reste de la wilaya elle est inférieure de - 0,1 à - 3,5 points et dans la commune d'El Tarf elle est égale à la moyenne de la wilaya (M.A.T.E., 2010).

### **II.4.4. Emploi dans les grands secteurs**

Indéniablement le secteur dit « primaire » (Agriculture + forêts + pêche) est le secteur productif le plus pourvoyeur d'emplois de la wilaya. Cela n'a rien d'étonnant au regard des

potentialités voire des vocations de cette wilaya. Hormis la rubrique « autre » qui englobe les activités de services divers et mal définies, ce sont par ordre décroissant le BTPH (17,81%) et le commerce (11,53%) qui suivent (Tableau 8).

**Tableau 8.** Répartition des emplois selon le secteur d'activité dans la wilaya d'El Tarf.

<b>Secteur d'activité</b>	<b>Nombre d'occupés</b>	<b>Proportion (%)</b>
Agriculture + pêche + forêts	24 778	19,78
Commerce	14 453	11,53
Administration	6 205	4,95
BTPH	22 317	17,81
Industrie	2 464	1,96
Autres	55 026	43,93
<b>Total</b>	<b>125 243</b>	<b>100%</b>

Ce qui est par contre frappant, c'est le niveau d'industrialisation très faible de la wilaya puisque ce secteur n'emploi que moins de 2% des occupés. Par ailleurs, le BTPH prend de l'ampleur à la faveur des grands programmes publics d'habitat et d'équipement lancés ces dernières années. Ce, secteur, demeure, en effet, un domaine créateur d'emplois impliquant aussi bien les populations urbaines que rurales (M.A.T.E., 2010).

#### **II.4.5. Secteur agricole**

##### **II.4.5.1. Occupation générale des terres agricoles**

La surface agricole utile (S.A.U.) qui s'étend sur une superficie de 74.173 ha, soit 88,27% de la superficie agricole totale (S.A.T.), représente un potentiel en terre non négligeable. Cependant, ce potentiel rapporté par habitant nous donne un ratio de 0,18 ha, loin de la moyenne nationale qui est de 0,25 ha/hab.

La répartition spatiale de la S.A.U. à travers la wilaya met en relief une différenciation parfois extrême des superficies. En effet, certaines communes s'accaparent une S.A.U. qui représente presque la totalité de la S.A.T., traduisant la vocation purement agricole de celles-ci telles que: Besbes, Dréan, Echatt et Chebaita Mokhtar.

Les parcours et pacages ne sont estimés qu'à 8.518 ha soit 10,14% de la S.A.T. Ils sont constitués principalement de maquis clairs dégradés, subissant régulièrement la pression du cheptel. La répartition spatiale des parcours distingue des communes où la vocation pastorale et la présence d'un élevage itinérant sont établies. Les communes où l'on relève une distribution assez représentative des parcours sont : Bougous, El Aioun, Zitouna et Souarekh.

Les terres improductives avec 1.346 ha représentent 1,59% de la superficie agricole totale de la wilaya. Elles sont constituées des terres affectées à l'agriculture (M.A.T.E., 2010).

#### II.4.5.2. Structures foncières

La répartition des exploitations agricoles par statut juridique, met en évidence la dominance des exploitations privées, avec 3.565 usagers soit, 30,25% de l'ensemble des exploitations agricoles. Les exploitations relevant du domaine privé de l'état ne sont pas en reste et s'offrent respectivement 11,11% des terres pour les exploitations agricoles collectives (E.A.C.), 13,34% des terres pour les exploitations agricoles individuelles (E.A.I.) et 3,45% des terres pour les concessions agricoles, soit environ 28% du total général (Tableau 9).

**Tableau 9.** Statut juridique des exploitations agricoles (wilaya d'El Tarf).

Statuts	EAC	EAI	Concessions	Fermes pilotes	Privés	Éleveurs sans terres	Autres	Total
<b>Nombre</b>	1192	1573	407	6	3565	2449	2593	<b>11.785</b>
<b>%</b>	10,11	13,34	3,45	0,01	30,25	20,78	22	<b>100</b>

Source : Directions des Services Agricoles 2008/2009

Un fait notable mérite d'être signalé. Il est relatif à l'existence d'un nombre élevé d'éleveurs sans terre (20,78%) et de la rubrique « autres » avec (22%), représentant conjointement 42,78% des agriculteurs de la wilaya.

De deux choses l'une, soit ils procèdent à la location des terres pour la conduite de leurs élevage, ce qui est moins probable. Soit, ils conduisent leurs élevages au profit des ressources naturelles (forêts et parcours) ce qui est constaté sur le terrain. Dans ce dernier cas de figure, il y'a risque de dégradation irréversible de ressources naturelles supposée être protégées (M.A.T.E., 2010).

### II.4.5.3. Élevage du grand cheptel

L'élevage occupe dans la wilaya d'El Tarf une place privilégiée. Le cheptel constitue traditionnellement la source de revenu d'appoint des petites exploitations, en même temps qu'un capital de survie en période difficile. L'effectif total est composé de 178.856 ovins, 89.794 bovins et 44.523 caprins (Tableau 10). La charge globale à l'hectare de la S.A.U. est de 9 équivalents ovins en considérant l'équivalence de 5 ovins pour 1 bovin et 1 ovin pour 1 caprin.

**Tableau 10.** Répartition des effectifs par type d'élevage (wilaya d'El Tarf).

Ovins	Caprins	Bovins	Total	Eq / ovins	Eq /ovin/ha SAU
178.856	44.523	89.794	<b>313.173</b>	672.349	9
57,11	14,21	28,70	<b>100%</b>		

Source : Directions des Services Agricoles 2008/2009

Le développement du cheptel au niveau de la wilaya et surtout en zone de montagne revêt une importance particulière. Il compense la réduction de la S.A.U., par valorisation des espaces naturels (forêts et parcours). L'élevage de type extensif, itinérant, assure des revenus non négligeables pour la population locale. L'élevage ovin est le plus important à en juger par l'importance des effectifs. Il est mené d'une manière traditionnelle. Les races sont de type local et menés en pâturage libre.

Il en ressort que les besoins du cheptel s'élèvent à 215.280.000 UF. La demande la plus importante réside chez les bovins, qui à eux seuls totalisent 130.500.000 UF soit 60,61% des besoins totaux. Le cheptel tire l'essentiel de son alimentation des fourrages cultivés 210.750.000 UF soit 56% de l'offre totale. Les parcours ne contribuent qu'à 4,37% seulement de l'offre fourragère totale ce qui dénote d'une part des faibles superficies allouées et d'autre part la faiblesse du cortège floristique (parcours dégradés).

Cette situation se traduit globalement par une pression de l'activité d'élevage sur les ressources naturelles de la zone, surtout les forêts. En effet, le bilan fourrager évalué, après comparaison entre l'offre et la demande, met en évidence un taux de satisfaction des besoins fourragers de 18% au niveau de la wilaya, cette situation de déficit est identique pour toutes les communes. Malheureusement, le déficit (82%) des UF est prélevé sur les forêts, parcours et pacages, favorisant ainsi la dégradation des ressources naturelles (M.A.T.E., 2010).

## II.5. Formations forestières de la wilaya d'El Tarf

Dans son cadre biogéographique, la wilaya d'El Tarf appartient au domaine méditerranéen, appelé aussi domaine méditerranéen Nord-Africain et plus particulièrement au secteur numidien (Maire, 1926). Sa vocation est agro-sylvo-pastorale ; mais les types de végétation forestière et la flore y varient beaucoup suivant les conditions climatiques et édaphiques. Les massifs forestiers occupent une superficie de plus de 165.828,31 ha représentant un taux de couverture de 57%.

### II.5.1. Chêne liège

Le chêne liège descend à ses plus basses altitudes dans la région d'El Kala (200m). De Cap Rosa jusqu'au sommet de Djebel Rhorra, il se présente sous forme d'une formation clairsemée où la hauteur des arbres dépasse à peine le maquis, sur des altitudes qui varient entre 200 et 400 m. Par contre depuis le versant Nord de l'Edough jusqu'au sommet du Djebel Rokba, le chêne liège se présente en forme arborescente plus dense ; le chêne liège ne se développe que dans les zones à fortes précipitations ; il est d'autant plus luxuriant que ces précipitations sont importantes, il caractérise l'étage bioclimatique subhumide doux, mais la subéraie typique se trouve dans les sous-étages subhumide moyen et supérieur doux (Photo 5). Il exige une température minimale moyenne comprise entre 4,5 et 7°C, un sol profond, meuble et non calcaire.

On remarque que le chêne liège prospère depuis le niveau de la mer et jusque vers 1200 à 1300 m. Aux faibles altitudes il est en concurrence avec l'oléo-lentisque qui l'élimine des sols argileux et des terrains à substratum calcaire ; avec le pin maritime sur les grès du littoral. Aux altitudes plus élevées et sur les sols profonds, il est en lutte continue avec le chêne zéen (Benderradji *et al.*, 1999).

Les facies du chêne liège sont nombreux et variés. Boudy (1952), distingue les facies suivants :

- ✓ **Faciès littoral** : la strate arborescente est ordinairement formée de *Quercus suber* pur. Dans la strate frutescente dominant *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea media*, *Rhamnus alaternus*, *Viburnum tinus*, *Myrtus communis*, *Calicotome spinosa*, *Chamaerops humilis*, *Cistus salvifolius*, *Cistus monspeliensis*, *Lavandula stoechas*, *Ruscus hypophyllum*. La strate herbacée est très réduite par suite de la diminution de la lumière : on y trouve quelques fougères (*Asplenium onopteris*, *Dryopteris aculeata*), *Ampelodesma*

*mauritanica* et quelques rares géophytes et hémicryptophytes. La strate muscinale présente d'assez nombreuses mousses et quelques lichens. De nombreuses lianes grimpent jusqu'à la cime des arbres.

- ✓ **Faciès montagnard** : dans ce faciès la strate arborescente est constituée par le *Quercus suber* mélangé de *Quercus lusitanica* var. *mirbeckii*, de *Quercus afares* et de *Prunus avium*. La strate frutescente comprend *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Calicotome spinosa*, *Genista tricuspidata*, *Crataegus monogyna*, *Cistus salvijolius*, *Cistus monspeliensis*, *Lavandula stoechas*, etc., qui forment un fourré moins haut et moins dense. La strate herbacée, mieux développée, comprend *Ampelodesmus mauritanicus* abondant, avec *Asphodelus microcarpus*, *Pulicaria odora*, *Pteris aquilina*, et assez nombreux hémicryptophytes et géophytes. La strate muscinale est moins développée. Les lianes sont relativement rares.



**Photo 5.** Subéraie (forêt domaniale Ghourrah, canton Ghourrah).

### II.5.2. Olivier et lentisque

C'est une formation sublittoral, l'association d'oléo-lentisque est xérophile et thermophile, assez indifférente à la nature du sol. L'oléo-lentisque apparaît dans l'étage subhumide inférieur doux. Les précipitations abondantes ne lui sont pas défavorables.

Cette association s'élève du niveau de la mer jusqu'à 1000 m. Sur les terrains meubles non calcaires, au niveau des piémonts dégradés, elle est en concurrence avec le chêne liège. L'oléo-lentisque est une des associations les plus fréquemment et les plus profondément modifiées par l'homme (Photo 6). Elle occupe en effet surtout les terrains argileux, qui sont ceux où la végétation forestière s'implante le plus difficilement et où elle résiste le moins et qui, d'autre part, sont en général d'excellents terrains de culture pour les céréales. Les stades de dégradation les plus habituelles sont la broussaille basse et claire de lentisques et d'oliviers rabougris, mêlée de *Zizyphus* sur les sols argileux (Benderradji *et al.*, 1999).



**Photo 6.** Oléo-lentisque (forêt domaniale Bouabed, canton El Hamra).

Boudy (1952), distingue un faciès continental en terrain argileux où la strate arborescente très discontinue, parfois presque nulle, est formée par *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Zizyphus lotus*. La strate frutescente, très clairière est constituée par *Pistacia lentiscus*, *Zizyphus lotus*, *Calicotome spinosa*, *Daphne gnidium*, *Anagyris foetida*, *Asparagus stipularis*, *Asparagus albus*; il y a très peu de lianes (quelques *Smilax*). La strate herbacée, très développée dans les clairières au printemps, disparaît presque complètement l'été. Sur le piémont Sud-Est du massif de l'Edough-Cap de Garde où la hauteur de la dune ne dépasse pas 10 m de haut, *Olea europaea*, mieux attribuée des vents, atteint un développement exubérant, favorisé par le débordement des marais de Mekhada (Aouadi, 1989).

### II.5.3. Chêne zéen

L'association typique du chêne zéen est une futaie élevée, dense, à dôme de verdure continue, très ombreuse, sous laquelle le sol reste presque toujours humide (Photo 7). La strate arborescente est constituée par le chêne zéen pur, ou mélangé au chêne afares, à *Sorbus terminalis*, *Aser obtusatum*, *Aser campestre*, parfois au chêne liège. La strate frutescente y est très peu développée, en raison du couvert épais : on peut rencontrer *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Crataegus monogyna*, *Crataegus laciniata*, *Arbutus unedo*, *Ilex aquifolium*, etc. Les lianes sont rares ou nulles, sauf *Hedera helix*. La strate herbacée est très réduite; on y trouve surtout des hémicryptophytes (Boudy, 1952).



**Photo 7.** Futaie de chêne zéen (forêt domaniale Ghourrah, canton Ghourrah).

L'association du chêne zéen est mésophile ; elle peut se développer sur presque tous les sols (sauf les argiles, les roches dures dysgéogènes et les sols salés ou mouillés); elle dépend surtout des conditions climatiques. Elle vit dans les régions à fortes précipitations (au moins 800 mm) et à l'état hygrométrique élevé. La nébulosité, les brouillards favorisent son développement ; elle supporte bien le froid ; on l'observe dans les contrées où la température minimale moyenne du mois le plus froid est comprise entre 4 et 5,5°C. Le chêne zéen prospère surtout au dessus de 1000 m. Aux altitudes basses il est en concurrence avec le

chêne liège et l'oléo-lentisque en terrain calcaire. Il se mélange très souvent intimement avec le chêne afares (Benderradji *et al.*, 1999).

#### II.5.4. Pin maritime

Le pin maritime est localisé surtout sur le littoral algéro-tunisien et se présente comme une futaie plus ou moins dense (Photo 8). Il est très peu xérophile, se développant uniquement dans les parties les mieux arrosées comprises entre 600 à 700 m d'altitude dans son aire algéro-tunisienne.



**Photo 8.** Reboisement de pin maritime (pineraie du Tonga).

Sur des terrains siliceux, le pin maritime est en concurrence permanente avec l'association du chêne liège ; toute cause affaiblissant le chêne liège, par exemple, l'exploitation du liège, donne l'avantage au pin maritime. Celui-ci, dont la dissémination est facile, et qui réagit aux incendies comme le pin d'Alep, prend rapidement possession des terrains dénudés ; mais à l'état naturel la plupart des peuplements finiraient par se mélanger fortement de chêne liège (Benderradji *et al.*, 1999).

Selon Boudy (1952), la strate arborescente comprend le pin maritime dominant, avec quelques chênes liège. La strate frutescente comprend surtout *Arbutus unedo*, *Erica scoparia*, *Erica arborea*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Phillyrea media*, *Calicotome spinosa*, *Chamaerops humilis*, *Genista numidica*, *Lavandula stoechas*, *Rubus ulmifolius*, *Cytisus triflorus*, *Daphne gnidium*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*. La strate herbacée, réduite, comprend surtout *Ampelodesmus mauritanicus*, *Pulicaria odora*, *Gennaria diphylla*, etc. Aucun de ces éléments du sous-bois n'est caractéristique; on les retrouve tous dans la subéraie.

### II.5.5. Chêne kermès

Occupant les formations dunaires consolidées du littoral, le chêne kermès est subordonné au chêne liège jusqu'à 300 m d'altitude (Photo 9).



**Photo 9.** Maquis de chêne kermès (forêt domaniale El Kala, canton les dunes).

Selon Thomas (1975), (in Aouadi, 1989), le chêne kermès est associé avec les espèces suivantes : *Juniperus phoenicia*, *Rumex bucephalophorus*, *Centaurea sphaerocephala*, *Thymelaea hirsuta*, *Retama bovei*, *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia lentiscus*, *Ephedra fragilis* et *Olea europaea*.

### II.5.6. Pin d'Alep du Mellah

En raison de ses exigences calcicoles, le pin d'Alep est généralement exclu des sols siliceux du tell. La station littorale du lac Mellah est une particularité réunissant deux espèces à exigences différentes : pin d'Alep et chêne liège. Cette association indique un milieu chaud et humide à la fois (Benderradji *et al.*, 1999).

### II.5.7. Essences introduites dans la wilaya d'El Tarf

Certaines essences ont été introduites et parfaitement acclimatées telles que l'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* et *Eucalyptus globulosus*) (Photo 10), le cyprès chauve (*Taxodium distichium*) (Photo 11), le peuplier de Virginie (*Populus virginica*) et l'acacia (*Acacia melanoxylon*) (Photo 12). Quelques rares pieds de *Cupressus sempervirens* sont en mélange avec le cyprès chauve. D'origine australienne, l'eucalyptus fut introduit pour la première fois à la fin du siècle dernier, par les colons français, pour assainir les marécages où sévissait de manière endémique le paludisme. Il y a une trentaine d'années, un reboisement massif de cette essence, sur plusieurs milliers d'hectares, devait servir à alimenter une usine à papier dont le projet n'a pas aboutit.



**Photo 10.** Eucalyptus (forêt domaniale El Kala, canton Boumalek).



**Photo 11.** Station du cyprès chauve (lac Tonga).

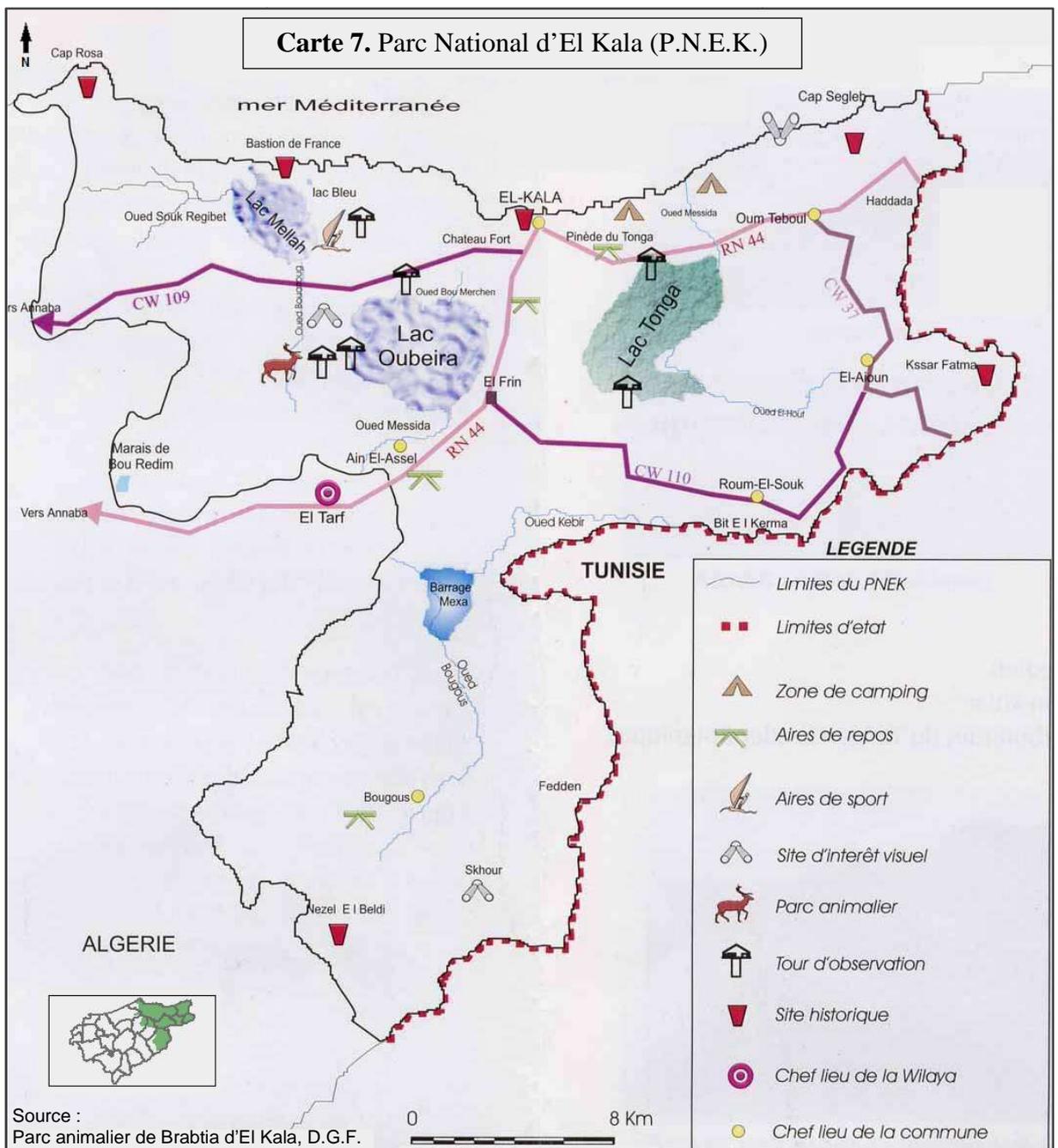


**Photo 12.** Acacia (forêt domaniale El Kala, canton Boumalek).

## II.6. Parc National d'El Kala (P.N.E.K.)

### II.6.1. Présentation et localisation

Situé dans la wilaya d'El Tarf, le Parc National d'El Kala a été créé par décret n° 83-462 du 23 juillet 1983, sur une superficie de 76.438 ha (26,45% de la superficie globale de la wilaya). Il est limité à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au nord par la mer Méditerranée, du cap Rosa au cap Segleb, à l'ouest, par la plaine alluviale d'Annaba et au sud par les contreforts des monts de la Medjerda (Carte 7).



Le Parc National d'El Kala concerne 9 communes, 6 incluses totalement à savoir : El Kala, El Aioun, Souarekh, Ain El Assel, Bougous et Ramel Souk, et 3 incluses partiellement qui sont : El Tarf, Boutheldja, et Berrihane. C'est le plus grand parc national du Nord de l'Algérie. C'est aussi le plus riche en biodiversité et le plus diversifié en écosystèmes naturels. C'est un parc national à la fois marin, terrestre et lacustre, qui a été également érigé depuis 1990 en réserve de biosphère du programme MAB de l'UNESCO. Il constitue un des derniers refuges du cerf de Barbarie. L'avifaune très remarquable grâce à un complexe de zones humides de notoriété internationale dont 7 (lac Tonga, lac Oubeira, lac Mellah, lac des oiseaux, lac noir, marais de la Mekhada et l'aulnaie d'Ain Khia) inscrits sur la liste RAMSAR relative à la convention sur les zones humides.

Depuis sa création, le Parc National d'El Kala est investi d'une mission de conservation des ressources naturelles et d'un patrimoine biologique important, mais cette tâche est difficile à réaliser à cause de la présence d'une importante population humaine (M.A.T.E., 2010).

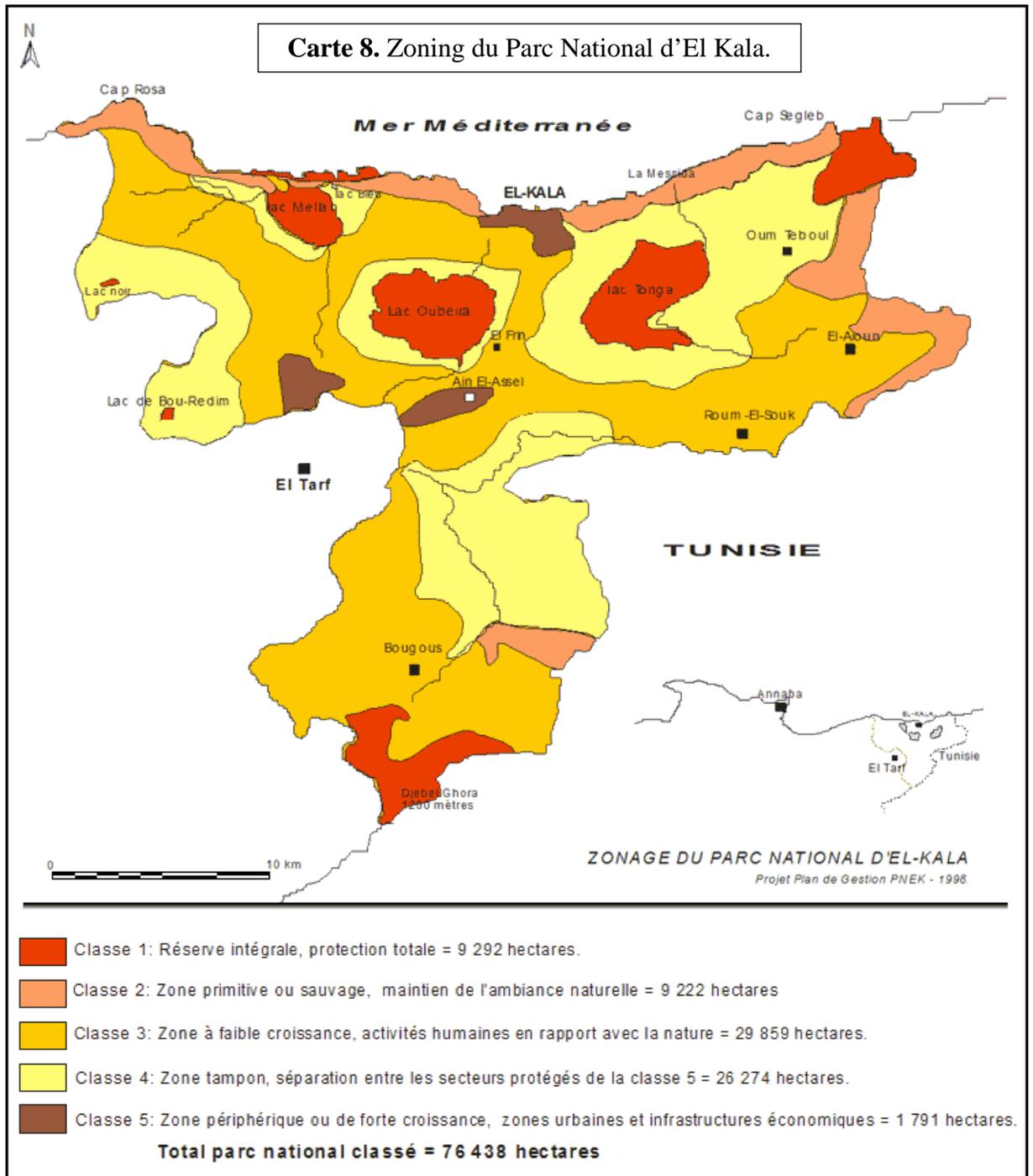
## **II.6.2. Zonage et modalités d'intervention**

Le territoire du Parc National d'El Kala, conformément à l'arrêté du 25 Avril 1987 fixant le zonage et les modalités d'intervention de son zonage, a été divisé en 10 zones et 31 sous-zones appartenant à 05 classes différentes de protection (Carte 8) (M.A.T.E., 2010).

### **II.6.2.1. Zones et sous-zones de la classe 1 (zone de réserve intégrale)**

Elles renferment des ressources à caractère unique ou particulier. Entrent dans cette classe, notamment la plupart des lieux historiques, préhistoriques, la pineraie à pin d'Alep, la pineraie mixte à pin d'Alep et pin maritime, la chênaie mixte (chêne liège, chêne zéen), les lacs (Oubeira, Tonga, Mellah, Bleu et Noir) et les marais de Bouredim.

Ces zones et sous-zones sont intégralement soustraites à toute intervention, à l'exception des investigations à caractère scientifiques. Les interventions éventuelles sont soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement.



### II.6.2.2. Zones et sous-zones de la classe 2 (zone primitive ou sauvage)

Elles sont constituées de milieux naturels spécifiques, qui doivent être maintenus dans leur état au titre d'échantillons témoins, pour être comparés aux milieux naturels dégradés ou en voie de l'être. Dans cette classe, on trouve les dunes littorales (dunes de Cap-Rosa, Cap Mzira et Messida) et les forêts de chêne liège et de chêne zéen (forêts de Djebel Addeda, Nehed et de Fedden).

Les interventions dans cette classe ne doivent pas modifier l'ambiance naturelle, Elles sont soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement.

#### **II.6.2.3. Zones et sous-zones de la classe 3 (zone à faible croissance)**

Elles renferment des milieux naturels en développement ou ayant une esthétique particulière à conserver. Elles peuvent être des lieux d'activités culturelles, scientifiques, sportives, touristiques, de loisirs et de détente en rapport avec la nature, ainsi que des zones de développement des ressources agricoles et artisanales.

Dans cette classe entrent les forêts (d'El Ksob, Bou Fhal, Koursi, Brabtia, El Aioun, Chataiba et Ain El Kébir) et les lieux à vocation touristique (El Tarf, Khanguet Aoun et Bougous). Toute intervention dans cette classe est soumise à l'autorisation du wali, après avis du directeur du Parc National.

#### **II.6.2.4. Zones et sous-zones de la classe 4 (zone tampon)**

Elles séparent les aires rigoureusement protégées, des zones ouvertes à la fréquentation en rapport avec la nature comme l'agriculture et la sylviculture. Cette classe renferme les zones de protection des lacs, les marais et le barrage de Mexa. Dans cette classe toute intervention est soumise à l'autorisation du wali, après avis du directeur du Parc National.

#### **II.6.2.5. Zones et sous-zones de la classe 5 (zone périphérique)**

Elles renferment les agglomérations incluses dans le Parc National où sont concentrées les structures et infrastructures socio-économiques. Celles-ci doivent être conformes aux dispositions de la loi sur l'environnement et le développement durable en matière de nuisance. Toute intervention en dehors du plan d'urbanisme, par les directeurs des chefs lieux des communes doivent être soumises à autorisation du wali.

## **II.7. Principales causes de dégradation des forêts de la wilaya d'El Tarf**

### **II.7.1. Les feux de forêts**

Les feux de forêts sont la principale cause de destruction et d'altération du patrimoine naturel dans la wilaya d'El Tarf. En effet, leur fréquence dans une même zone, modifie la composition et la structure de la végétation et empêche la régénération de certaines espèces.

La cocciféraie fréquemment incendiée est, par exemple, progressivement remplacée par des faciès de dégradation où *Halimium halimifolium* domine. De même, la plupart des formations de chêne liège subissent une régression vers l'état de maquis arborés où la densité des arbres diminue. La subéraie est alors envahie d'un sous bois riche en espèces épineuses et thermophiles tels que les genêts (*Genista tricuspidata*, *Calycotome villosa*). La réduction de la superficie forestière est surtout imputable aux incendies. Les feux de forêts risquent même d'entraîner une dévalorisation du patrimoine régional et de ses facteurs de développement (M.A.T.E., 2010).

### **II.7.2. Les ravageurs**

Certaines espèces d'insectes causent des dégâts permanents ou occasionnels sur les essences naturelles ou introduites, affectant le développement naturel des arbres et diminuant leur valeur commerciale. La décennie 1978-1987, correspondant à une période de sécheresse a été marquée par d'importantes infestations des plantations d'eucalyptus par le *Phoracanta semi punctata*, du pin maritime par la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* et du chêne liège par *Lymantria dispar*. Ces ravageurs s'attaquent principalement aux arbres déjà affaiblis par la sécheresse (M.A.T.E., 2010).

### **II.7.3. Les défrichements**

De nombreux délits sont signalés chaque année par la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf. Ces délits concernent : les défrichements, la coupe d'arbres, la carbonisation, les labours illicites, les feux volontaires etc.... De nombreux défrichements sont utilisés pour la culture d'arachides. Le défrichement est également causé par l'exploitation directe des essences. C'est le cas du Laurier sauce (*Laurus nobilis*) dont la production est illicitement acheminée vers la Tunisie et du chêne liège dont le mauvais démasclage peut provoquer la mort du sujet (M.A.T.E., 2010).

#### **II.7.4. Le surpâturage**

Toutes les formations végétales de la région sont soumises à un pâturage extensif non contrôlé. Les troupeaux de bovins séjournent en forêt plusieurs mois (hiver et printemps) sans surveillance, empêchant les jeunes pousses de chêne liège de se développer. L'augmentation significative du cheptel caprin, destructeur de la végétation accentuerait le problème de façon aiguë dans les zones sensibles. La régénération de la forêt est particulièrement compromise au niveau des vieilles futaies de chêne liège et de chêne zéen du massif Ghourrah, ainsi que dans les aulnaies, riches en espèces rares (M.A.T.E., 2010).

#### **II.7.5. L'exploitation forestière**

En plus des feux et du surpâturage, les formations de chêne liège se trouvent altérées par une exploitation qui ne respecte pas les normes requises. En effet, la hauteur de démasclage de très jeunes arbres est souvent supérieure aux normes fixées, ce qui augmente leur vulnérabilité aux feux. Le personnel employé à la récolte du liège est essentiellement saisonnier et peu expérimenté, occasionnant des blessures sur les arbres. Enfin, les arbres démasclés restent sans protection contre les feux (M.A.T.E., 2010).

#### **II.7.6. Les activités d'extraction**

Les carrières sont à l'origine d'une forte érosion locale du sol. L'exploitation de sable, en sus du défrichage, entraîne la déstabilisation des dunes le long du littoral (sablrière de Messida et Aïn Melloul) ; le village de Righia est actuellement sous l'emprise de l'ensablement par suite du remaniement de la dune (M.A.T.E., 2010).

#### **II.7.7. L'urbanisation**

Dans une région à forte vocation écologique et touristique, l'urbanisation s'est faite sur un mode anarchique qui n'est pas sans conséquence sur l'environnement, les paysages et la qualité de vie urbaine. Les zones rurales ne sont pas indemnes d'une pratique architecturale dont le moins que l'on puisse dire est qu'elle s'intègre mal dans l'environnement. Une absence de politique rigoureuse dans ce domaine et une gestion approximative du foncier ont conduit à une répartition sans études d'impacts de l'habitat en zone rurale (M.A.T.E., 2010).

# *Chapitre III*

*Approches méthodologiques :  
modélisations et outils*

## Chapitre III : Approches méthodologiques : modélisations et outils

L'approche méthodologique adoptée pour la conception d'un outil cartographique d'aide à la gestion du risque feu de forêt dans la wilaya d'El Tarf s'appuie sur trois étapes importantes :

- mise au point d'un modèle conceptuel de données (MCD) à partir du concept « situation à risque » ;
- construction de la Base de Données Géographique et structuration des données collectées ;
- construction des différents niveaux d'information spatiale et des cartographies associées utiles aux gestionnaires et à leurs échanges dans le cadre d'une gestion territoriale du risque feu de forêt.

### III.1. Du concept de « situation à risques » à sa modélisation en SIG

Le concept de « situation à risques » vise à construire un panorama aussi large et pertinent que possible des éléments entrant dans la relation Risque/Espace. Ces éléments et leurs interrelations sont explicités au sein d'un modèle conceptuel de données (MCD). C'est à partir de ce modèle que sera construite et structurée la base de données du Système d'Information Géographique (SIG) dédié au repérage et à l'évaluation des situations à risques, et à la concertation entre les acteurs pour leur gestion (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

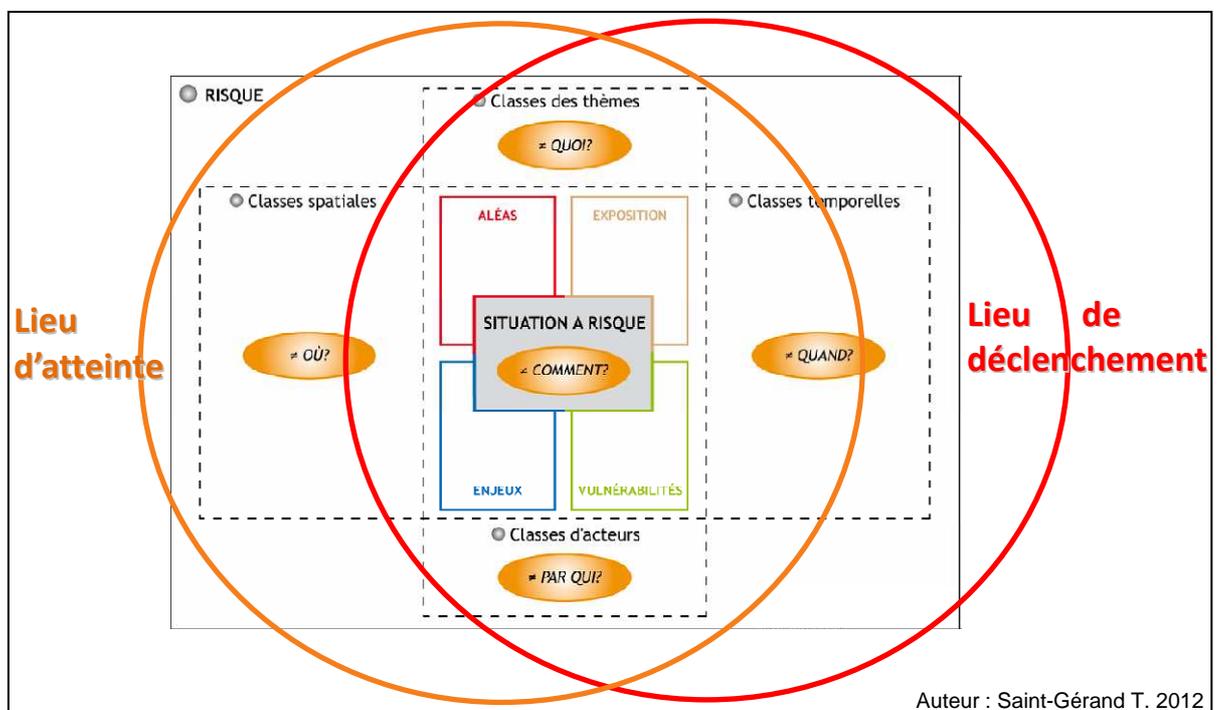
#### III.1.1. Définition du concept « situation à risques »

Une « situation à risques » est la combinaison et la variation, sur une portion d'espace donnée, des différents potentiels d'aléas, d'exposition, d'enjeux, de vulnérabilités et de résilience. Par le terme de « potentiel » ce concept vise à rendre compte de l'incertitude inhérente aux aléas, aux vulnérabilités, ainsi qu'à leur conjonction. Il incite ainsi à prendre la mesure de ces incertitudes sans masquer que l'éventualité d'une catastrophe ne peut jamais être éliminée. Le terme de « situation » pointe les modulations qui affectent l'espace à risque selon les circonstances du moment. Il permet d'individualiser, plus finement que le classique binôme aléa/vulnérabilité, des distinctions pertinentes pour expliciter les différentes dimensions du risque.

Ces dimensions sous-tendent des domaines d'information inégalement mobilisables. Les domaines d'aléas, d'exposition, d'enjeux, de vulnérabilités se concrétisent dans l'espace par des objets, des flux, et des états spécifiques susceptibles –au moins en principe– d'être renseignés. Les capacités d'anticipation de réaction et de récupération modulateurs de conditions de vulnérabilités, en revanche, font appel à des indicateurs difficilement objectivables à priori (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

### III.1.2. Pour gérer le risque dans l'espace, modéliser le risque en tant que système spatial

Sous l'angle phénoménologique, l'espace géographique du risque peut être assimilé à un système complexe spatialisé. Son modèle cognitif, c'est-à-dire la représentation à travers laquelle on l'appréhende, s'appuie sur une échelle d'observation à multiples niveaux, du plus analytique au plus synthétique. Il met en relation des registres de référencement (sémantique, fonctionnel, spatial et temporel) dont émanent les grandes entrées ou classes du système : thèmes, espaces, temps et acteurs. Ces entrées répondent aux questions fondamentales : quoi ? où ? quand ? par qui ? comment ? et leurs déclinaisons, qui se rapportent à la fois aux aléas, à l'exposition, aux enjeux et vulnérabilités caractérisant une situation à risques (Figure 22).



**Figure 22.** Du concept général de « situations à risques » aux spécifications du risque feu de forêt : modèle initial.

- ✓ À la question QUOI ? est associée la classe des « thèmes » qui définit les types d'éléments, de phénomènes et de processus susceptibles d'intervenir dans le système risque : éclosions des feux, intensité du feu, surface brûlée, lutte contre le feu, etc.
- ✓ À la question OÙ ? est associée la classe de « structures spatiales » qui considère tout ce qui renseigne le caractère spatialisé du système à savoir les localisations ainsi que les configurations géométriques et topologiques : lieux et formes d'implantation, de répartition et de voisinage des différents éléments, phénomènes spatiaux ou aires concernant la problématique risque. Elles sont par nature liées aux échelles de perception de l'espace.
- ✓ À la question QUAND ? est associée la classe de « structures temporelles » qui considère tout ce qui renseigne les caractères temporels du système : les positions dans le temps ainsi que les formes de segmentation et d'organisation des temporalités propres aux éléments et processus de la problématique risque. Elles sont, par nature elles aussi, liées aux échelles de perception du temps.
- ✓ À la question PAR QUI ? est associée la classe d'« acteurs » qui définit les différents individus, groupes ou organisations susceptibles d'influer sur le système : services de l'État, agent forestier, protection civile, agriculteur, éleveur, population locale, etc.

Toutes les réponses à ces questions particulières apportent une contribution à la question globale du COMMENT ? qui préside au concept de situation à risques.

Les classes « thèmes » et « acteurs » sont de nature conceptuelle et sémantique, les classes de structures « spatiales » et « temporelles » émanent des deux référentiels fondamentaux qui permettent d'identifier thèmes et acteurs, non plus seulement des points de vue sémantique et fonctionnel comme précédemment, mais dans leurs formes d'existence concrète, localisables et délimitables dans le temps et l'espace terrestre.

Au total, les deux premières classes –thèmes et acteurs– permettent d'identifier et inventorier les agents du système. Les deux dernières –spatiales et temporelles– référencent et renseignent les lieux et les moments de contingence entre ces agents, via des discrétisations spatiales (entités, secteurs, zones de compétence, d'effet,...) ou temporelles (durées, dates,...) propres à chaque thème et échelle d'analyse.

Le concept de situation à risques est destiné à être « opératoire » en ce sens qu'il trace la ligne directrice d'un raisonnement pour déduire, moyennant une méthode de formalisation ad hoc, la structure d'un Système d'Information Géographique adapté à l'évaluation des situations à risques et à leur gestion par les acteurs (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

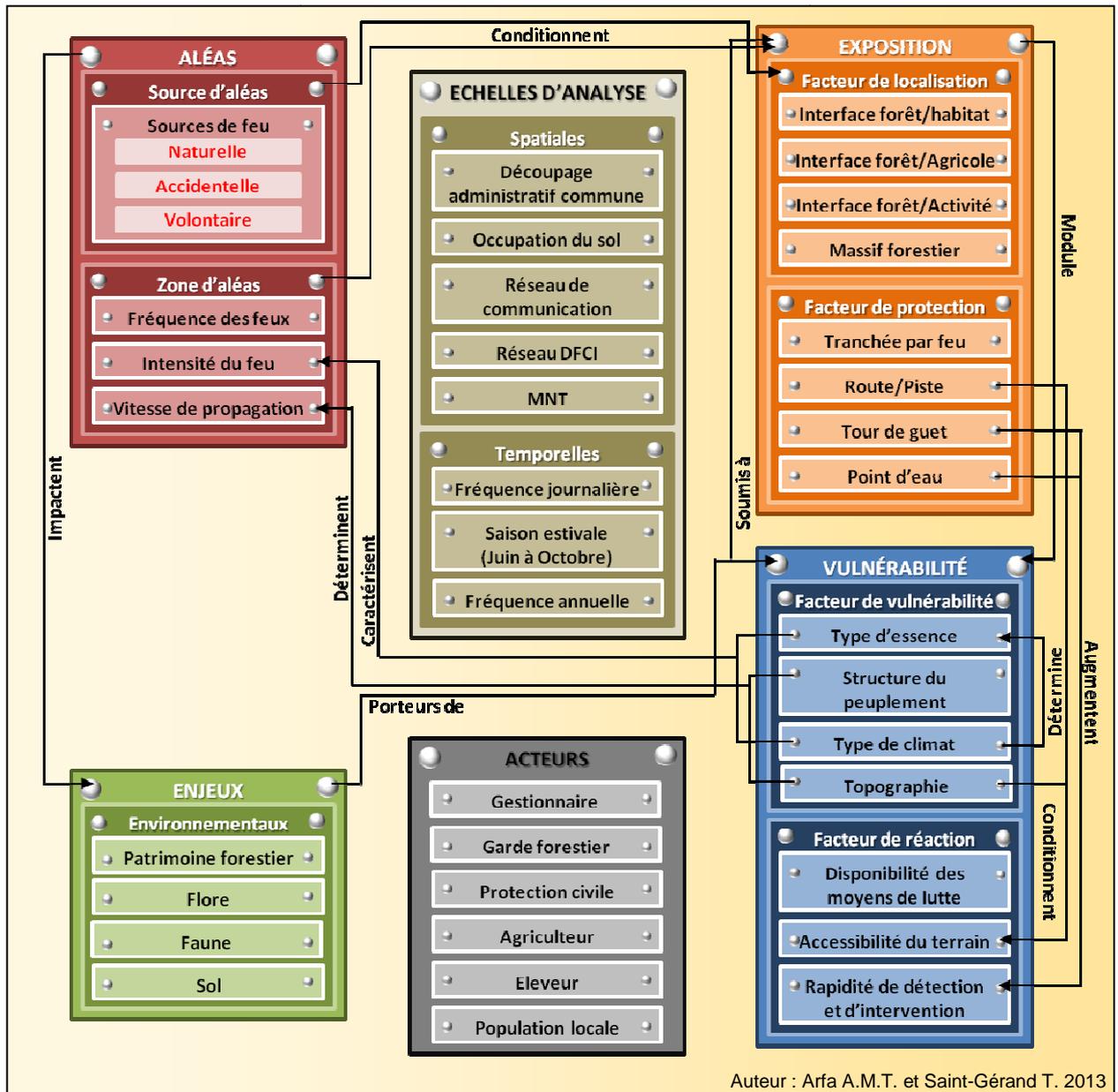
### III.1.3. Modèle conceptuel de données de la situation à risque feu de forêt

La démarche adoptée ici consiste à explorer tout d'abord la complexité (notamment spatiale) du sujet afin d'identifier la nature des données nécessaires, ainsi que leurs relations mutuelles. Cette conception des SIG est basée sur le principe de « comprendre (d'abord) pour mesurer (ensuite) ». Il s'agit donc bien de construire une intelligence des représentations d'un phénomène pour mieux organiser les moyens de les renseigner (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

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

Il s'agit ainsi d'identifier et de structurer, selon les échelles d'analyses géographiques pertinentes, l'ensemble des données spatiales et attributaires se rapportant à ces concepts. Le modèle conceptuel de données (MCD) développé dans le cadre de cette recherche est un modèle de type hypergraphique, d'inspiration à la fois systémique, systématique et spatiale, développé au sein du laboratoire GEOSYSCOM (université de Caen) à partir de fondements proposés par Bouillé (1978). La modélisation hypergraphique de Bouillé permet de construire des structures de données prenant en compte à la fois la globalité du ou des phénomènes traités, les formes d'existence (entités spatiales ou enregistrements de base de données) des objets décrivant ces phénomènes, des attributs décrivant ces objets, ainsi que leurs relations. Le tout est visualisé selon un graphisme explicitant clairement les référents de base du chercheur (Saint-Gérand, 2002).

La Figure 23 représente les différentes hyper-classes et classes d'objets se rapportant au risque feu de forêt. Pour des raisons de plus grande lisibilité, tous les liens n'ont pas été représentés.



**Figure 23.** Modèle conceptuel de la géodatabase du système spatial risque feu de forêt.

« Échelles d'analyses spatiales, temporelles et acteurs » sont des hyper-classes dédiées aux référentiels dans lesquels s'inscrit le repérage des situations. Les autres classes ont trait aux aléas, aux enjeux, aux vulnérabilités et à l'exposition. Les aléas impactent les enjeux, eux-mêmes soumis aux facteurs de vulnérabilités. Les facteurs d'exposition modulent les vulnérabilités. « Aléas et enjeux » sont des objets, « vulnérabilités, exposition, résilience » sont des attributs. C'est la conjonction de ces différents éléments qui définit la construction des différentes situations à risques.

## III.2. Construction de la Base de Données Géographique

Pour répondre à l'objectif de caractérisation des situations à risques dans les massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, il est nécessaire de collecter un grand nombre et une grande variété de données multi-sources. Après avoir affiné le MCD, un gros travail consiste à alimenter et structurer la base de données spatiale en respectant ce modèle de données. C'est une étape longue, très minutieuse, bien plus laborieuse qu'on ne l'imagine au départ, en l'absence de données de base.

### III.2.1. Données initiales

Les données initiales nécessaires pour alimenter la base de données spatiale (Tableau 11) peuvent être classées en trois catégories :

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

**Tableau 11.** Listes des données nécessaires pour alimenter la base de données spatiale.

Données	Disponibilité	Format
Découpage administratif (communes)	Disponible	Couches vectorielles thématiques
Modèle numérique de terrain (MNT)	Disponible	Image Raster
Cartes topographiques	Disponible nécessitant une numérisation et un calage	Papier
Carte d'occupation du sol	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Carte des formations forestières	Disponible nécessitant des corrections et mises à jour	Couches vectorielles thématiques
Plans des forêts domaniales	Disponible nécessitant une numérisation et un calage	Papier
Localisation des départs de feux (1985-2012)	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau DFCI (point d'eau, tour de guet et tranchée pare-feu)	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau routier	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau de pistes forestières	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Données météorologiques	Disponible	Tableur
Bilans des feux de forêts (1985-2012)	Disponible	Papier

### **III.2.2. Acquisition, évaluation et intégration des données**

La collecte des données et leur intégration dans une base constituent des phases clés de notre recherche. Il s'agit d'un travail long et minutieux. La saisie des données demande également un temps de travail important et continu.

La première étape consiste à examiner dans le détail les données disponibles à la fois sous l'angle de leur contenu thématique, précision géométrique et cohérence topologique, et à procéder à des corrections et mises à jour si nécessaire. La seconde étape consiste à rechercher des outils et développer des méthodes qui permettent de créer les données non disponibles. Dans une troisième phase, de nouvelles couches d'information sont créées par croisements successifs des couches existantes.

Toutes les données recueillies ont été traitées, organisées et intégrées dans le SIG.

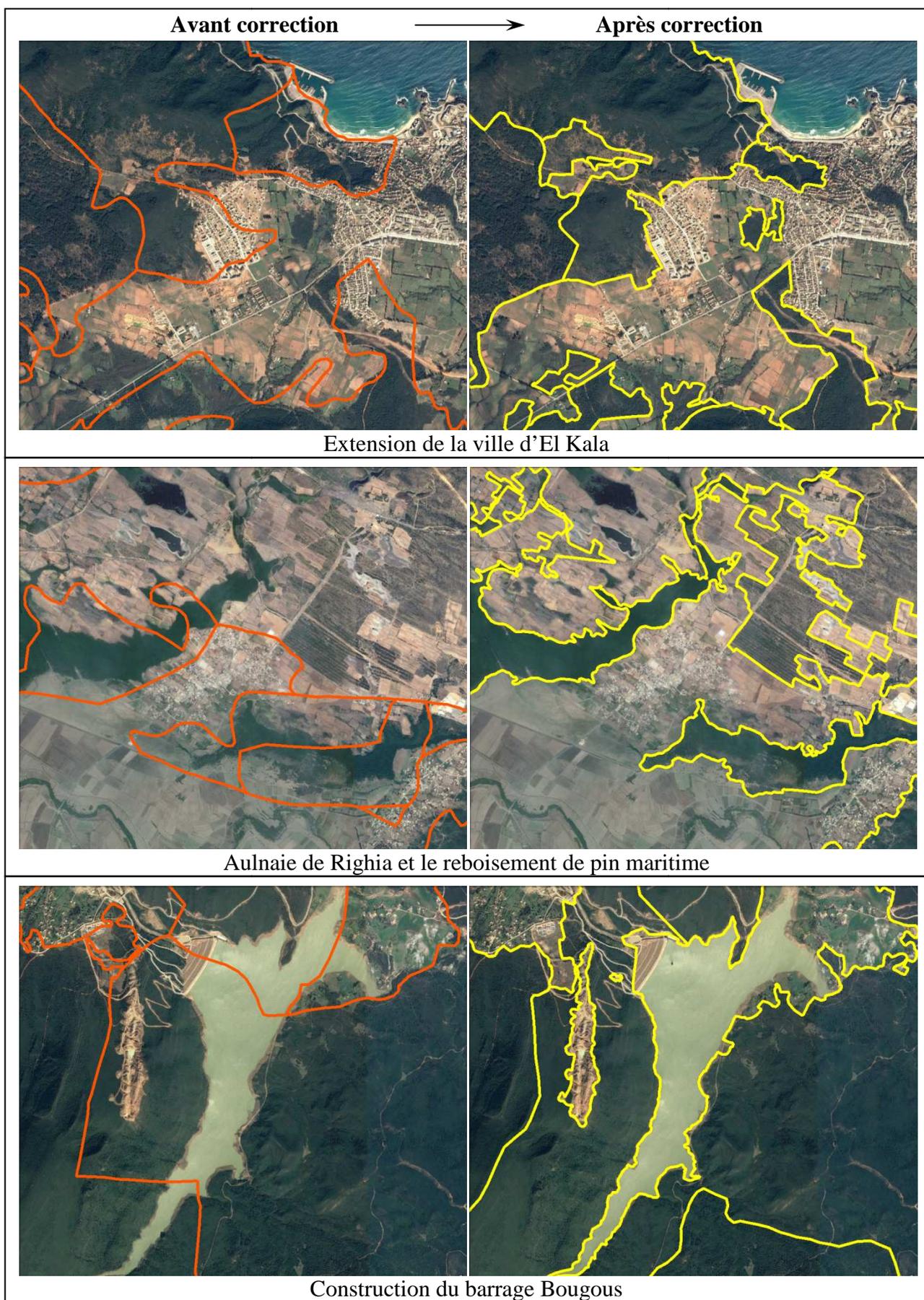
#### **III.2.2.1. Examen, correction et mise à jour des données disponibles**

Sur les 12 données initiales nécessaires, 7 sont disponibles, dont 3 nécessitent des corrections et mises à jour. Les données concernant le découpage administratif, le modèle numérique de terrain, les données météorologiques et les bilans des feux de forêts sont disponibles et utilisables sans traitements préalables.

##### **A) Carte des formations forestières**

Les données sur la caractérisation des principales formations forestières ont été collectées auprès de la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf. Ces données, sous forme de couches vectorielles, ont été élaborées en 2007, dans le cadre de l'étude d'inventaire forestier national, par le B.N.E.D.E.R. (Bureau National d'Études pour le Développement Rural).

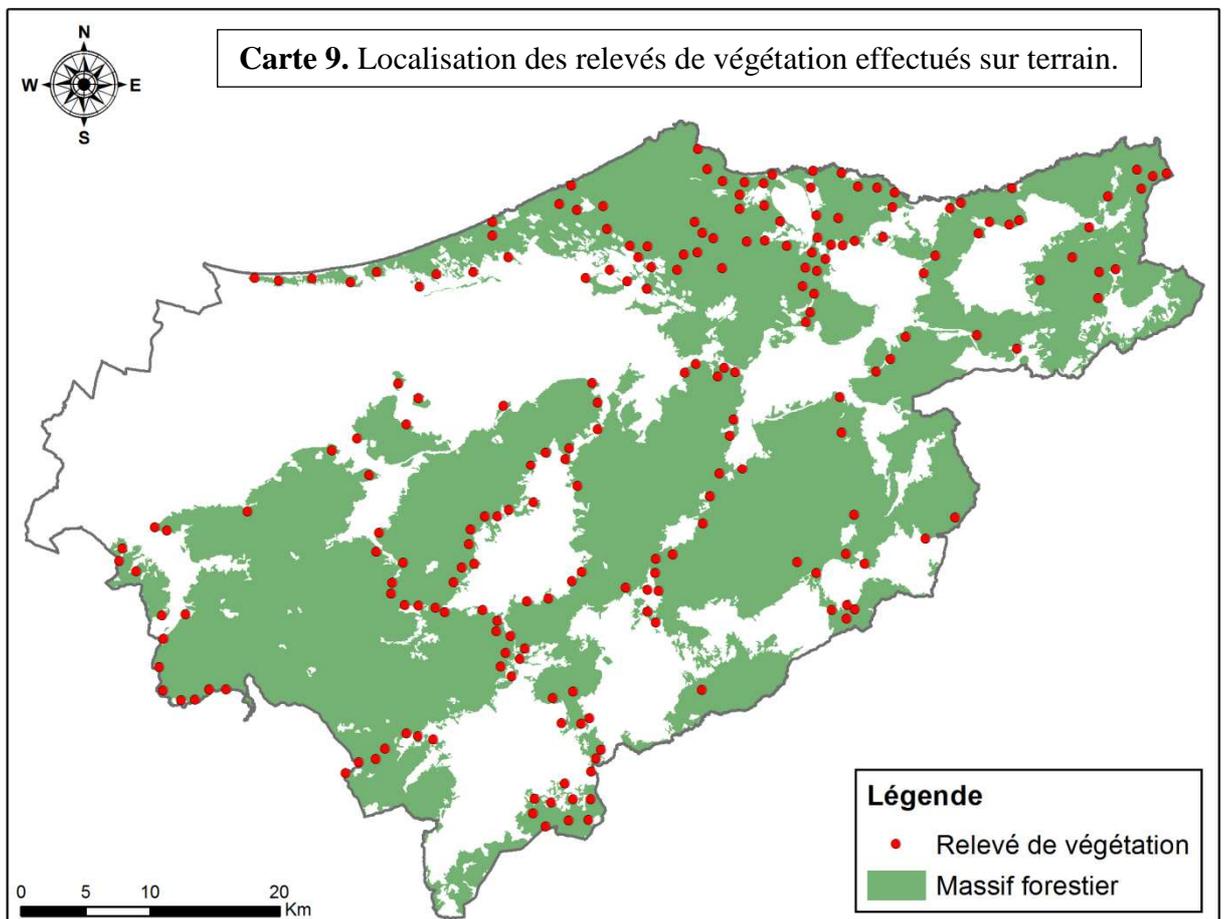
L'examen approfondi de ces couches a révélé la présence d'un certain nombre d'erreurs concernant les limites spatiales et le type de formation forestière. La figure 24 illustre quelques exemples d'erreur des limites spatiales des formations forestières.



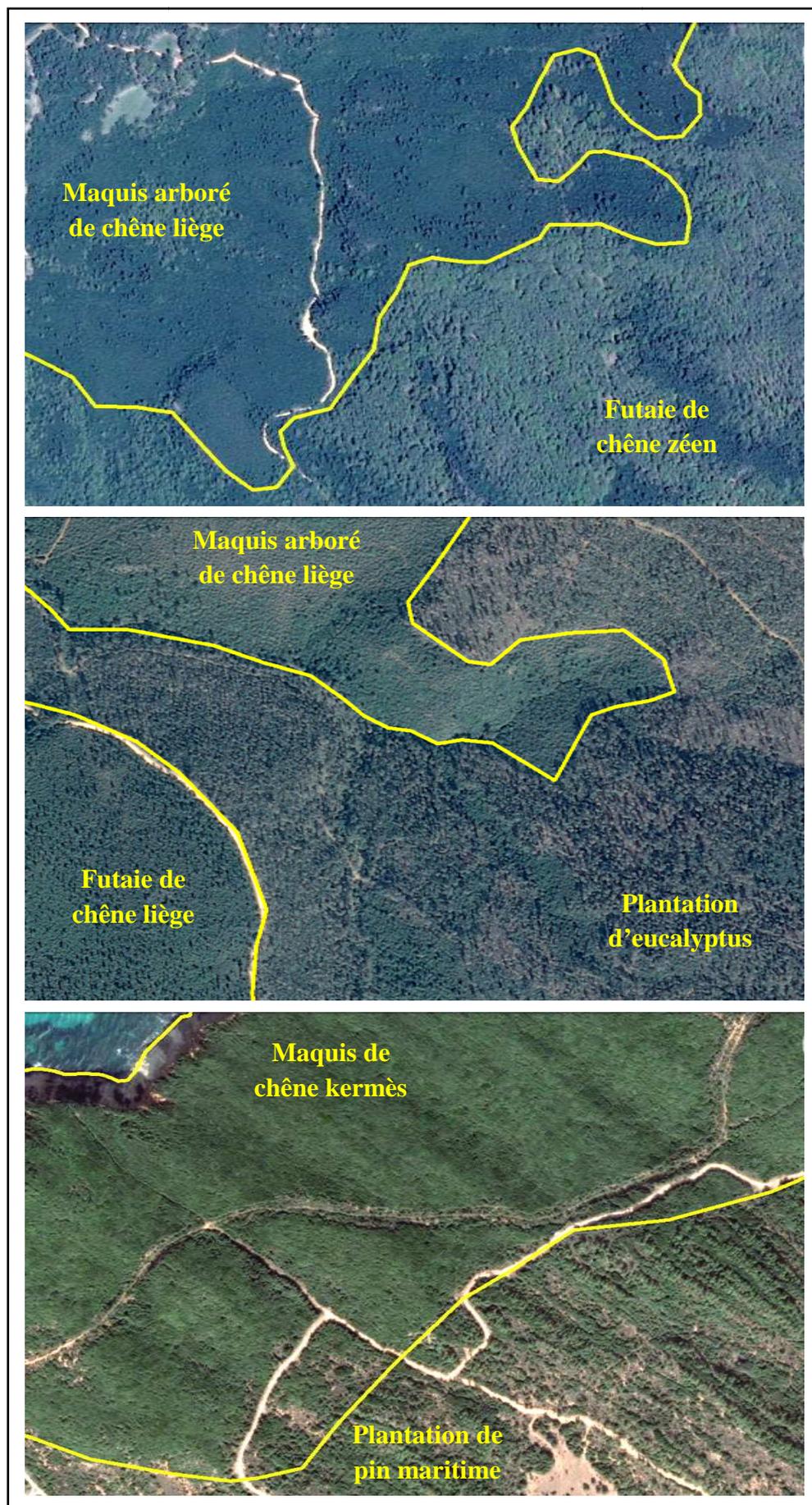
**Figure 24.** Exemples de correction des limites spatiales des formations forestières.

Les images très haute résolution des satellites Pléiades commercialisées par Airbus Defence and Space, fournies gratuitement par le logiciel Google Earth, ont servi de référentiel pour la correction des limites des formations forestières. La résolution spatiale très élevée des images a permis une vectorisation d'une grande précision.

La correction des limites spatiales des formations forestières a été suivie d'une campagne d'enquête et de relevé sur terrain pour confirmer, corriger et mettre à jour le type et la structure de la végétation. Au total, 209 relevés de terrain ont été réalisés sur l'ensemble des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf (Carte 9).



Le choix des points de relevé s'est fait sur la base d'un échantillonnage stratifié. L'interprétation visuelle de l'imagerie satellitaire très haute résolution Pléiades, a permis de découper les 165.828,31 ha de massif forestier en zones homogènes du point de vue structure et densité de la végétation (Figure 25). Au niveau de chaque zone homogène, un point de relevé a été choisi.



**Figure 25.** Exemples de découpage des massifs forestiers en zones homogènes.

Un récepteur GPS de type GARMIN Oregon 550 a été utilisé pour localiser sur terrain les points de relevés. Avec une précision de localisation pouvant aller jusqu'à 3 m, il est également doté d'un appareil photo numérique, idéal pour les prises de vues géolocalisées.

Les observations effectuées sur terrain ont permis, non seulement, d'identifier les types d'essences forestières, mais également de déterminer la structure des peuplements et d'estimer le taux de recouvrement de chaque strate (ligneux hauts, ligneux bas, herbacées et litière). Toutes les informations recueillies sur terrain ont été consignées sur des fiches accompagnées d'une série de photos géolocalisées pour en faciliter l'accès et l'analyse. A l'issue de la campagne de relevé sur terrain, 209 fiches descriptives et 1053 photos ont été réalisées.

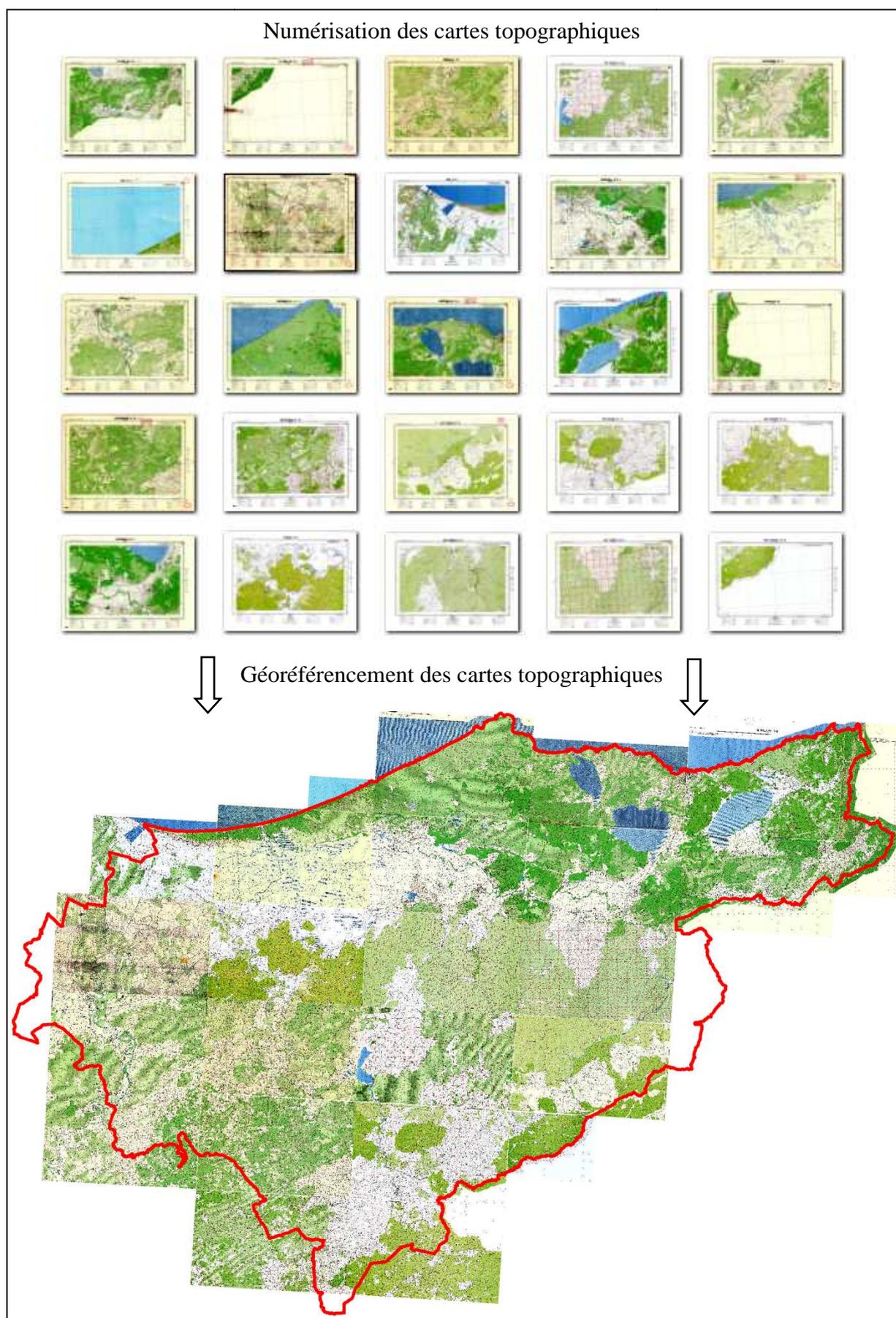
La carte des formations forestières, une fois corrigée, a été soumise à une dernière étape de validation. Celle-ci a été réalisée en collaboration avec les services forestiers des 5 circonscriptions et 18 districts de la wilaya d'El Tarf. Cette dernière étape importante a permis de corriger et de mettre à jour certaines parcelles ayant bénéficié de programmes de reboisement, de réhabilitation et d'aménagement.

## B) Cartes topographiques

La couverture du territoire de la wilaya d'El Tarf a nécessité au total 25 cartes topographiques au 1/25.000 (Tableau 12). Elles ont été collectées auprès de l'I.N.C.T. (Institut National de Cartographie et de Télédétection). Ces cartes, au format papier, ont subi une numérisation et un géoréférencement (Figure 26).

**Tableau 12.** Listes des cartes topographiques couvrant le territoire de la wilaya d'El Tarf.

Titre de la carte	N° des feuilles	Echelle	Nombre de carte
AIN KERMA	N°1-2 N°3-4 N°5-6 N°7-8	1/25 000	4
BÔNE	N°3-4 N°5-6 N°7-8		3
BOUCHEGOUF	N°1-2 N°3-4 N°7-8		3
BOU HADJAR	N°1-2 N°3-4 N°5-6		3
BOUTELDJA	N°1-2 N°3-4 N°5-6 N°7-8		4
DRÉAN	N°5-6 N°7-8		2
EL KALA	N°1-2 N°3-4 N°5-6 N°7-8		4
MONDOVI	N°1-2 N°3-4		2
TOTAL			25



**Figure 26.** Numérisation et géoréférencement des cartes topographiques de la wilaya d'El Tarf.

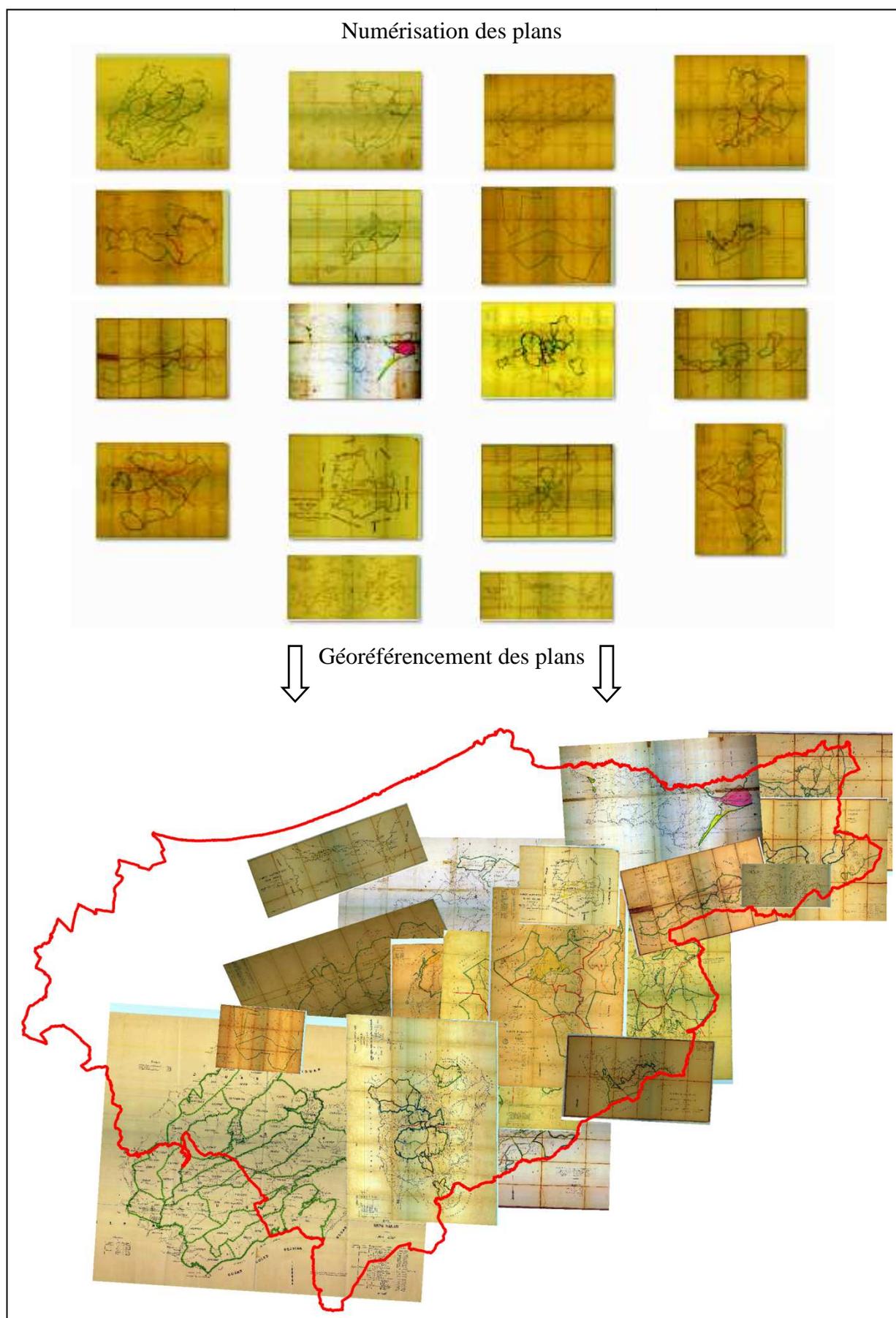
### C) Plans des forêts domaniales

La wilaya d'El Tarf compte, en plus des forêts communales, 19 forêts domaniales. Les plans de 15 forêts domaniales et 3 forêts sectionales ont été collectés auprès de la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf (Tableau 13). Ceux des forêts domaniales de Brabtia, Dunes de la Mafrag, Fedj Laamed et les deux lacs ne sont pas disponible.

**Tableau 13.** Listes des plans des forêts domaniales et sectionales de la wilaya d'El Tarf.

N°	Titre du plan	Nombre de canton	Echelle
1	FORÊT DOMANIALE DES BENI SALAH	16	1/40.000
2	FORÊT DOMANIALE DE BLANDAN (Bouteldja)	08	1/20.000
3	FORÊT DOMANIALE DE BOU ABED	12	1/20.000
4	FORÊT DOMANIALE DE L'OUED BOUGOUS	13	1/20.000
5	FORÊT DOMANIALE DE LA CHEFFIA	04	1/20.000
6	FORÊT DOMANIALE DU DJEBEL DYR	05	1/20.000
7	FORÊT DOMANIALE DE BEL GHOUBA	02	1/10.000
8	FORÊT DOMANIALE DE DJEBEL GOURRAH	02	1/20.000
9	FORÊT DOMANIALE DE KHANGUET AOUN	06	1/20.000
10	FORÊT DOMANIALE DE LA CALLE (El Kala)	04	1/20.000
11	FORÊT DOMANIALE DE MUNIER (Ain Kerma)	10	1/20.000
12	FORÊT DOMANIALE DE NEHED	07	1/20.000
13	FORÊT SECTIONALE DES NEHED	03	1/10.000
14	FORÊT SECTIONALE DES SEBA	02	1/20.000
15	FORÊT DOMANIALE DE SOUARAKH	21	1/20.000
16	FORÊT DOMANIALE DU TARF	10	1/20.000
17	FORÊT DOMANIALE DE TOUSTAIN (Zitouna)	09	1/20.000
18	FORÊT SECTIONALE D'AIN KHIAR	01	1/10.000

Ces plans, au format papier, ont subi une numérisation et un géoréférencement (Figure 27). Les cartes topographiques, les limites communales, les oueds, les routes et les localités, ont servi de repère pour l'opération de calage des plans.



**Figure 27.** Numérisation et géoréférencement des plans des forêts domaniales (wilaya d’El Tarf).

### III.2.2.2. Création des données non disponibles

Cette partie présente les méthodes développées et les outils utilisés pour la création des données, non disponibles, nécessaires à notre étude. Les données concernées sont :

- ✓ la carte d'occupation du sol ;
- ✓ la localisation des départs de feux entre 1985 et 2012 ;
- ✓ le réseau routier ;
- ✓ le réseau de pistes forestières ;
- ✓ le réseau de défense des forêts contre les incendies (point d'eau, tour de guet et tranchée pare-feu).

#### A) Carte d'occupation du sol

Le territoire de la wilaya d'El Tarf à été subdivisé en 5 grandes classes d'occupation du sol :

- la végétation ;
- l'agriculture ;
- les plans d'eau ;
- le sable ;
- le bâti.

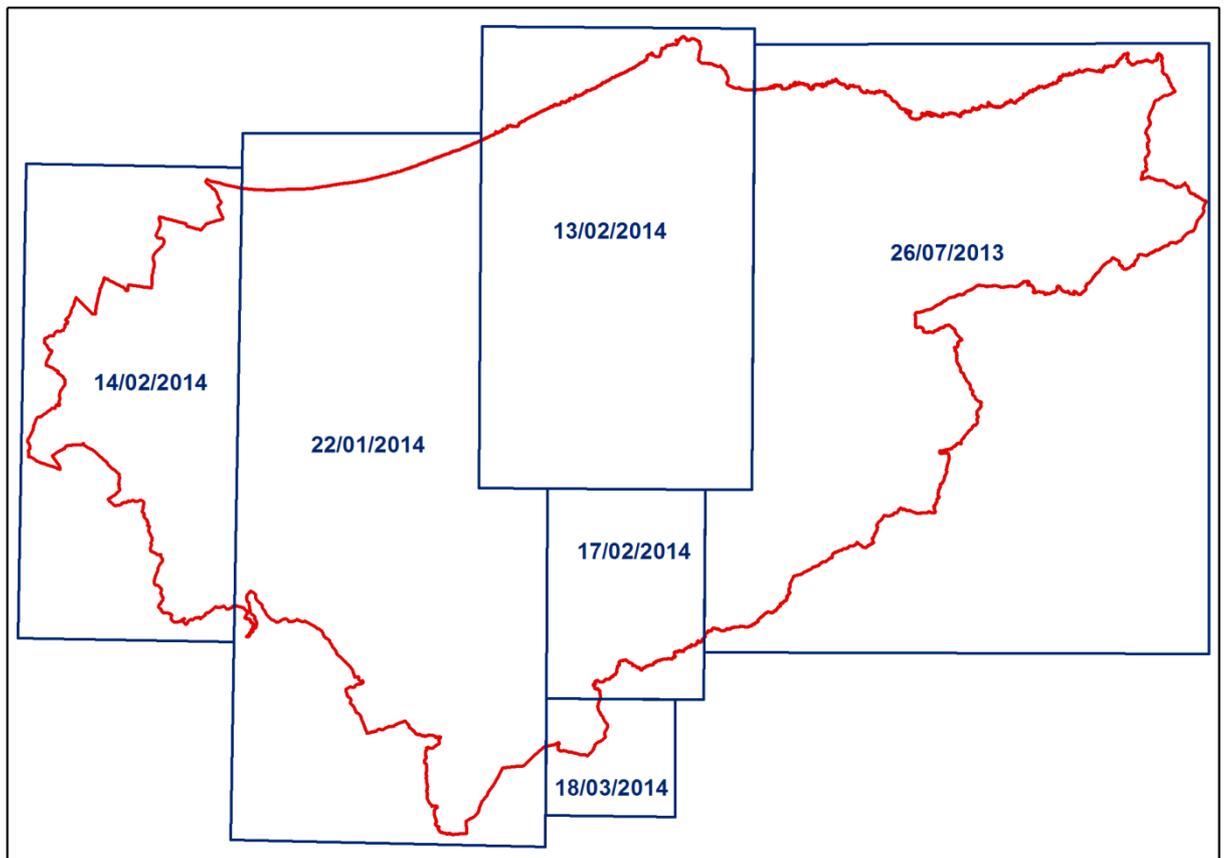
L'opération de vectorisation des couches vectorielles, représentant chaque classe, a été réalisée à l'aide du logiciel Google Earth. Lors de la vectorisation, une échelle très fine a été choisie (1/500 pour le bâti et 1/1000 pour les autres classes). Cette grande précision a été obtenue grâce à l'interprétation visuelle des images satellites très haute résolution Pléiades, disponibles gratuitement sous Google Earth.

Lancé en décembre 2011, Pléiades est un système d'imagerie spatiale à très haute résolution, capable de fournir des clichés de n'importe quel point du globe en moins de 24h (Figure 28). Constitué de deux satellites identiques, Pléiades 1A et Pléiades 1B, placés sur la même orbite, ce système d'imagerie spatiale permet l'observation et la cartographie de la surface terrestre. Il délivre en mode panchromatique des images à 70 cm de résolution, rééchantillonnées au sol à 50 cm et, en mode multispectral, des images à 2,8 m de résolution, rééchantillonnées à 2 m. La fusion des 2 types de produits permet donc d'obtenir des images couleurs à 50 cm de résolution.



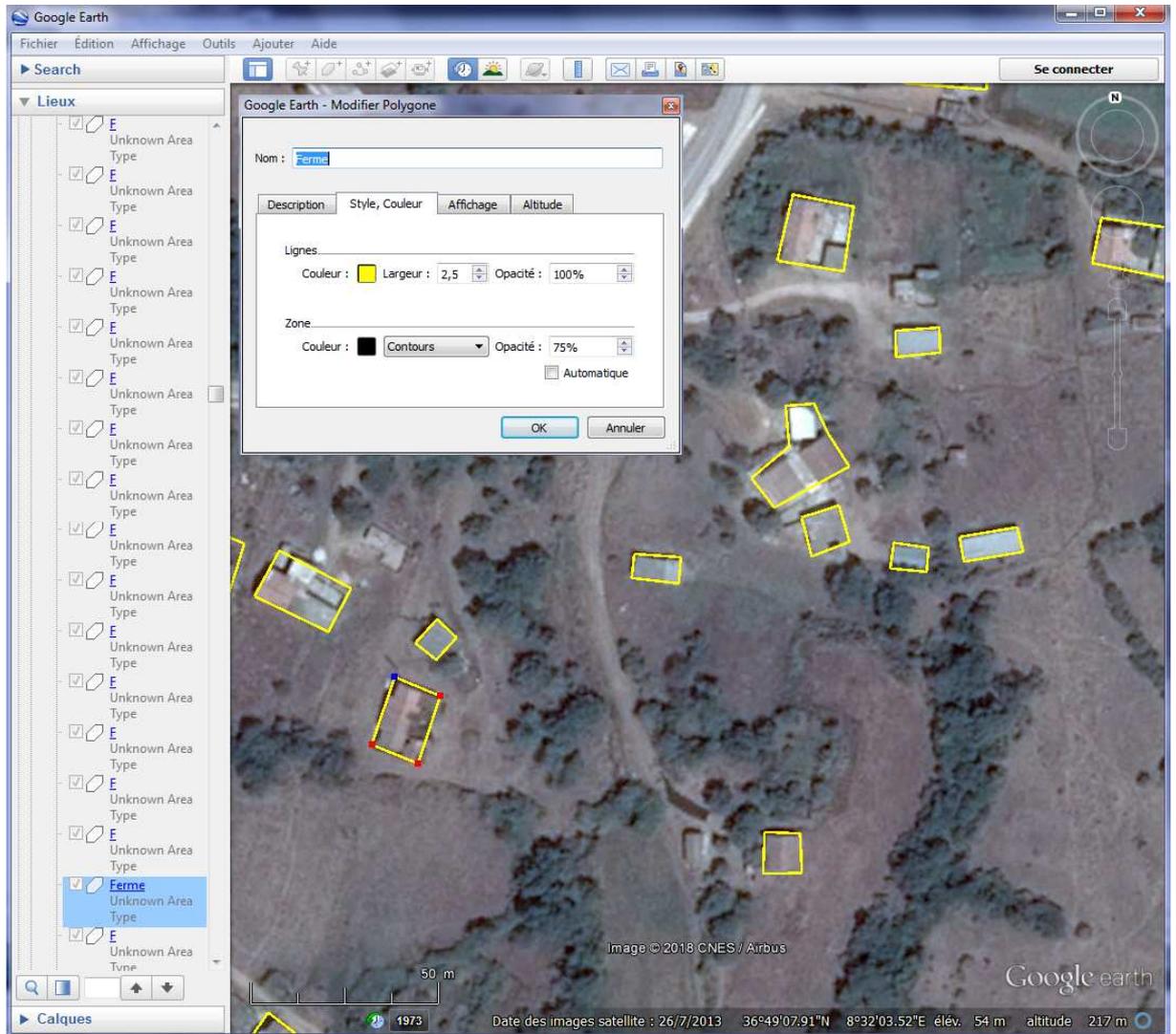
**Figure 28.** Système d'imagerie spatiale à très haute résolution Pléiades.

Les dates des images satellites Pléiades, utilisées sous Google Earth pour la vectorisation des classes d'occupation du sol, sont comprises entre le 26/07/2013 et le 18/03/2014 (Figure 29).



**Figure 29.** Dates des images satellites Pléiades utilisées dans Google Earth.

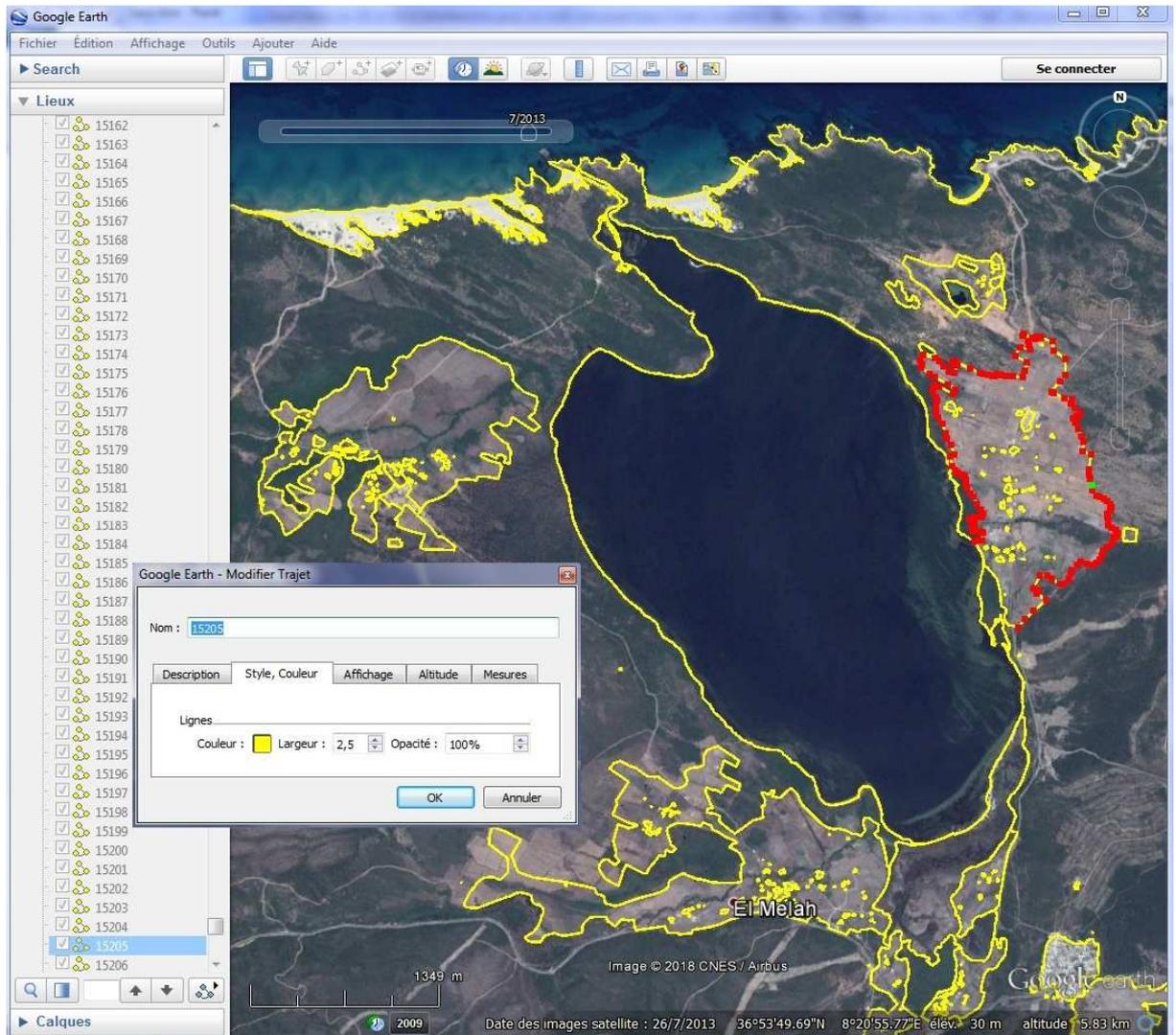
Sous Google Earth, les types d'entités vectorielles utilisées pour la vectorisation de la carte d'occupation du sol, sont les lignes et les polygones. Les polygones ont servi pour la vectorisation du bâti, notamment l'habitat éparé (maisons rurales et fermes) (Figure 30).



**Figure 30.** Vectorisation des maisons rurales et fermes dans Google Earth.

Pour la végétation, l'agriculture, les plans d'eau et le sable, nous avons développé une technique de vectorisation basée sur les entités linaires (Figure 31). Le principe de cette technique consiste à vectoriser, dans Google Earth, les surfaces des zones contiguës, non plus avec des polygones mais plutôt avec des lignes fermées, qui seront converties par la suite en polygones dans le SIG. Cette technique présente plusieurs avantages :

- ✓ économie du temps de travail en réduisant le nombre de segment à vectoriser ;
- ✓ évite les erreurs de chevauchement entre les limites contiguës ;
- ✓ facilite les modifications et corrections des limites vectorisées.



**Figure 31.** Vectorisation du lac, du sable, de la végétation et de l’agriculture dans Google Earth.

Une fois la vectorisation de toutes les classes d’occupation du sol achevée, les couches sont exportées de Google Earth vers le SIG pour renseigner les tables attributaires avec les informations correspondantes (type d’occupation, surface, etc.)

## **B) Localisation des départs de feux entre 1985 et 2012**

La localisation spatiale de tous les départs de feux, déclarés entre 1985 et 2012 au niveau de la wilaya d’El Tarf, est essentielle pour notre étude. Etant donné qu’aucune carte concernant les départs de feux n’est disponible, nous avons entrepris de les localiser à partir des archives disponibles au niveau de la conservation des forêts.

L'examen des archives a révélé qu'elles ne contiennent aucune mention sur les coordonnées géographiques des 3.259 départs de feux. La seule indication spatiale concerne le nom de la commune, de la forêt, du canton et du lieudit.

Au départ, nous avons eu l'idée d'utiliser la télédétection spatiale pour localiser ces 3.259 départs de feux, mais on s'est vite rendu compte que s'était irréaliste pour plusieurs raisons :

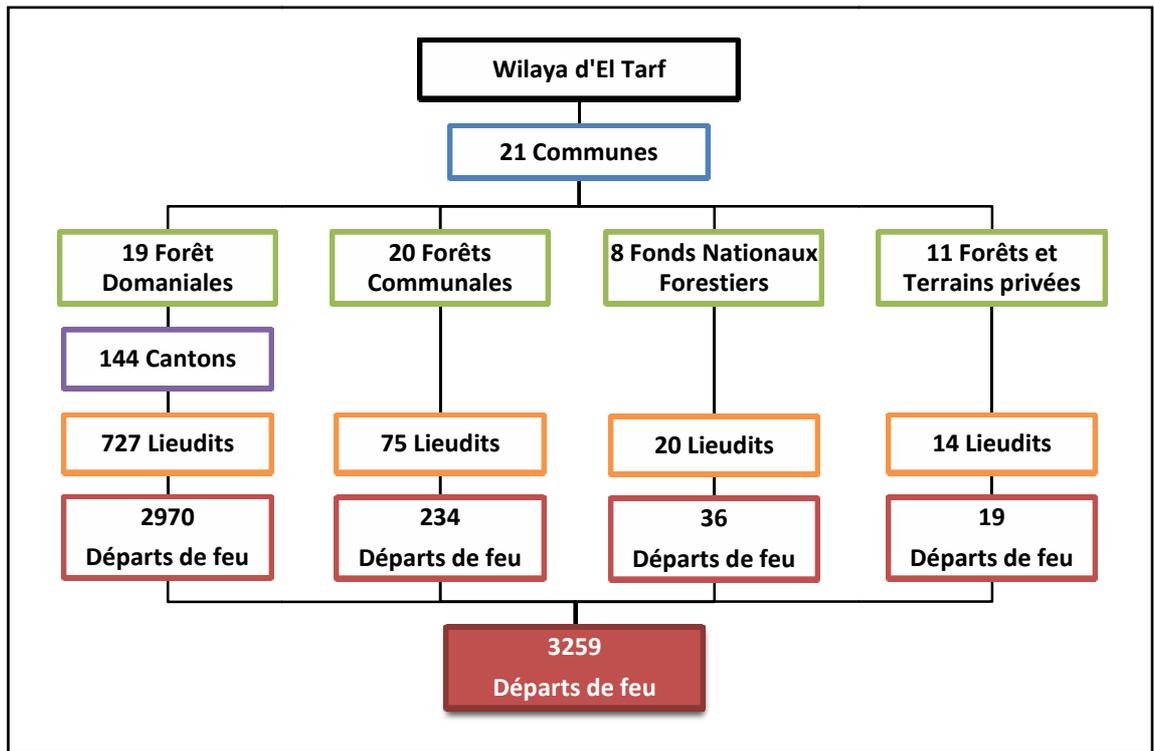
- les images très hautes résolution ne sont disponibles qu'à partir de 1999 (43% des feux ont une surface <1 ha) ;
- pour les images plus anciennes (Landsat) la majorité des dates ne sont pas disponibles ;
- pour les dates disponibles présentant une surface brûlée, il est difficile de déterminer le point de départ ou s'il s'agit d'un ou de plusieurs départs de feux.

Au final, l'approche adoptée pour la localisation des départs de feux, repose sur la géolocalisation des lieudits, seule indication spatiale précise disponible.

Partant du constat que ces lieudits ne peuvent être connus que par les agents forestiers qui les ont consignés dans les rapports d'incendies, nous avons travaillé en collaboration avec ces derniers pour leur géolocalisation.

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

- lors de la première étape, les 836 lieudits correspondant aux 3.259 départs de feux ont été triés et regroupés en fonction de la commune, de la forêt et du canton (pour les forêts domaniales) (Figure 32). Au total 18 groupes de lieudits ont été constitués, correspondant aux zones de compétence des 18 districts des forêts que compte la wilaya d'El Tarf ;
- la seconde étape, qui concerne tous les déplacements effectués au niveau des 18 districts forestiers, a permis la géolocalisation des 836 lieudits en collaboration avec les agents forestiers. Pour plus de précision, nous avons sélectionné les agents les plus expérimentés (agent de terrain ayant au minimum 10 à 15 ans d'expérience dans le même district et parfois natif de la région). De plus, les cartes topographiques et les plans des forêts domaniales numérisés et géoréférencés, ainsi que l'imagerie satellite très haute résolution Pléiades sous Google Earth ont été utilisés, comme support de base, pour faciliter le repérage et la géolocalisation précise des lieudits.



**Figure 32.** Répartition des lieux-dits des départs de feux par communes, forêts et cantons.

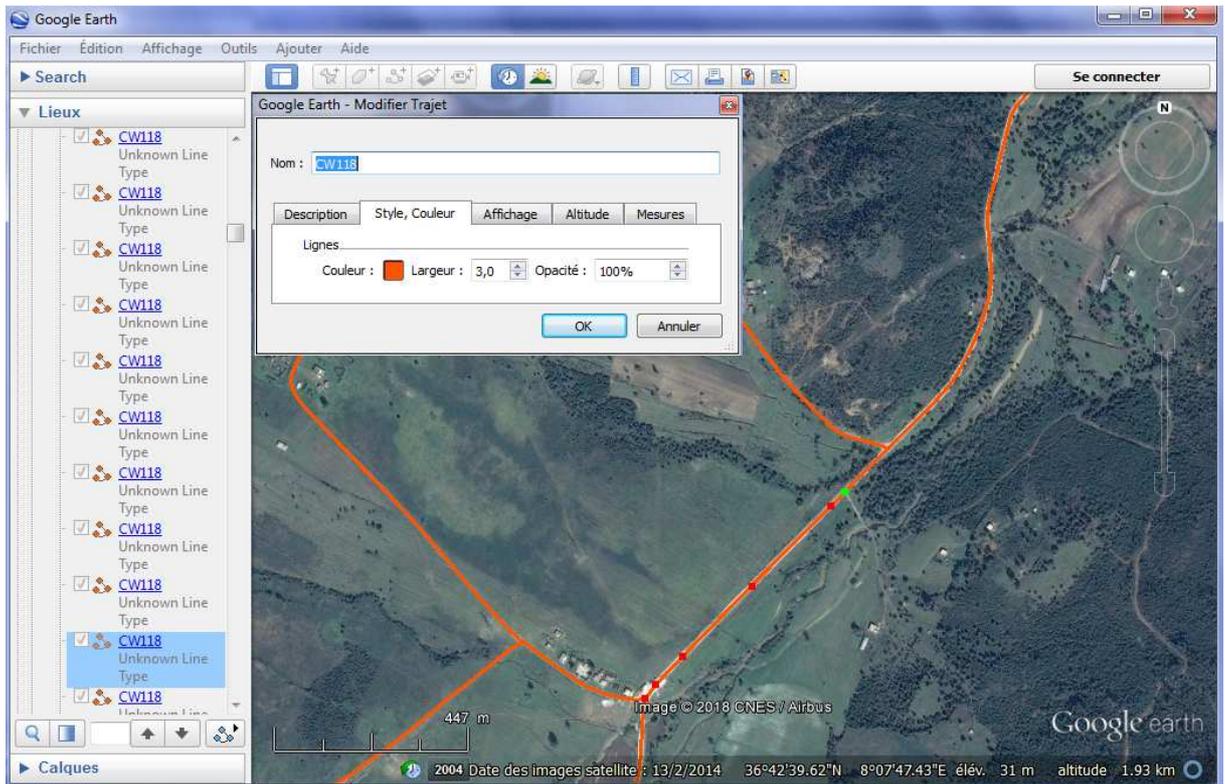
### C) Réseau routier

Le réseau routier de la wilaya d'El Tarf a été vectorisé sous Google Earth à partir des images satellites très hautes résolution Pléiades (Figure 33). Les entités linaires ont été utilisées pour la vectorisation des routes nationales, des chemins wilayas, des chemins communaux et routes secondaires. Une fois la vectorisation achevée, les entités vectorielles ont été exporté de Google Earth vers le SIG pour la création du réseau routier de la wilaya d'El Tarf.

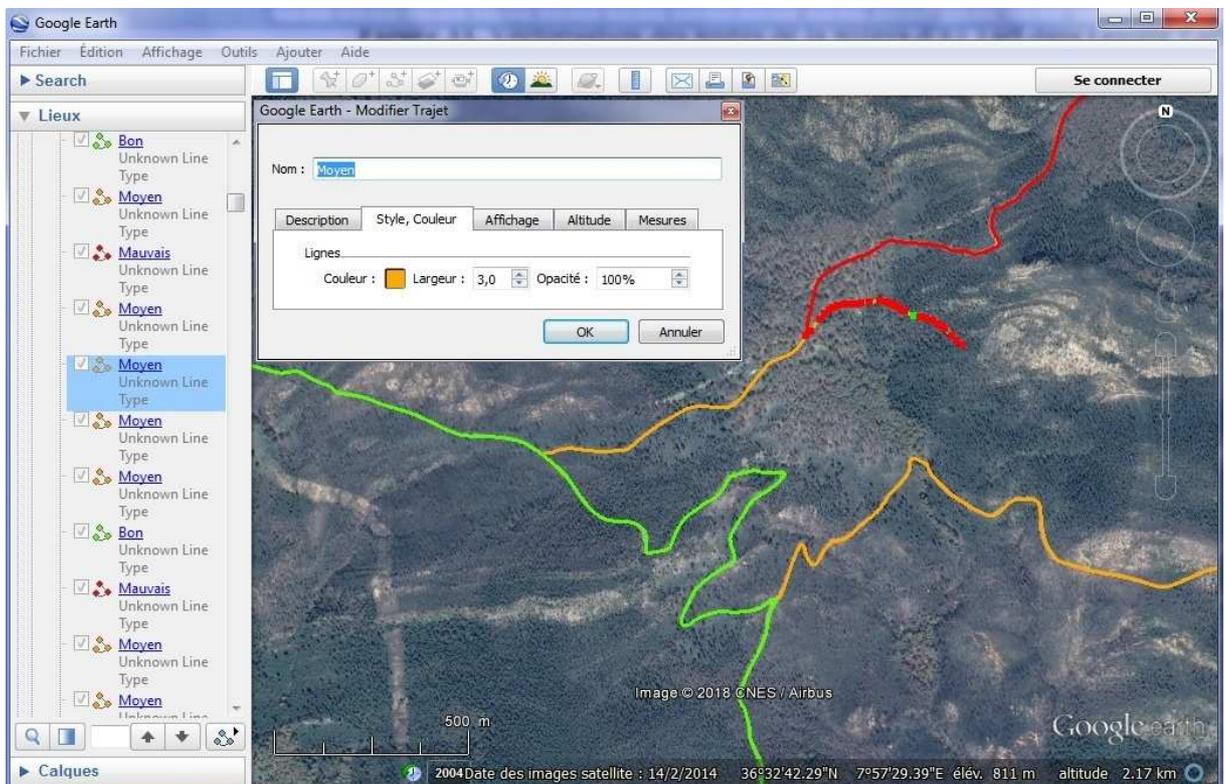
### D) Réseau de pistes forestières

La méthode utilisée lors de la vectorisation du réseau routier a également servi pour la création du réseau de pistes forestières (Figure 34). En collaboration avec les agents forestiers des 18 districts, nous avons classé chaque tronçon de piste, suivant l'accessibilité offerte aux véhicules d'intervention tout-terrain, en trois catégories :

- ✓ piste praticable ;
- ✓ piste difficilement praticable ;
- ✓ piste impraticable.



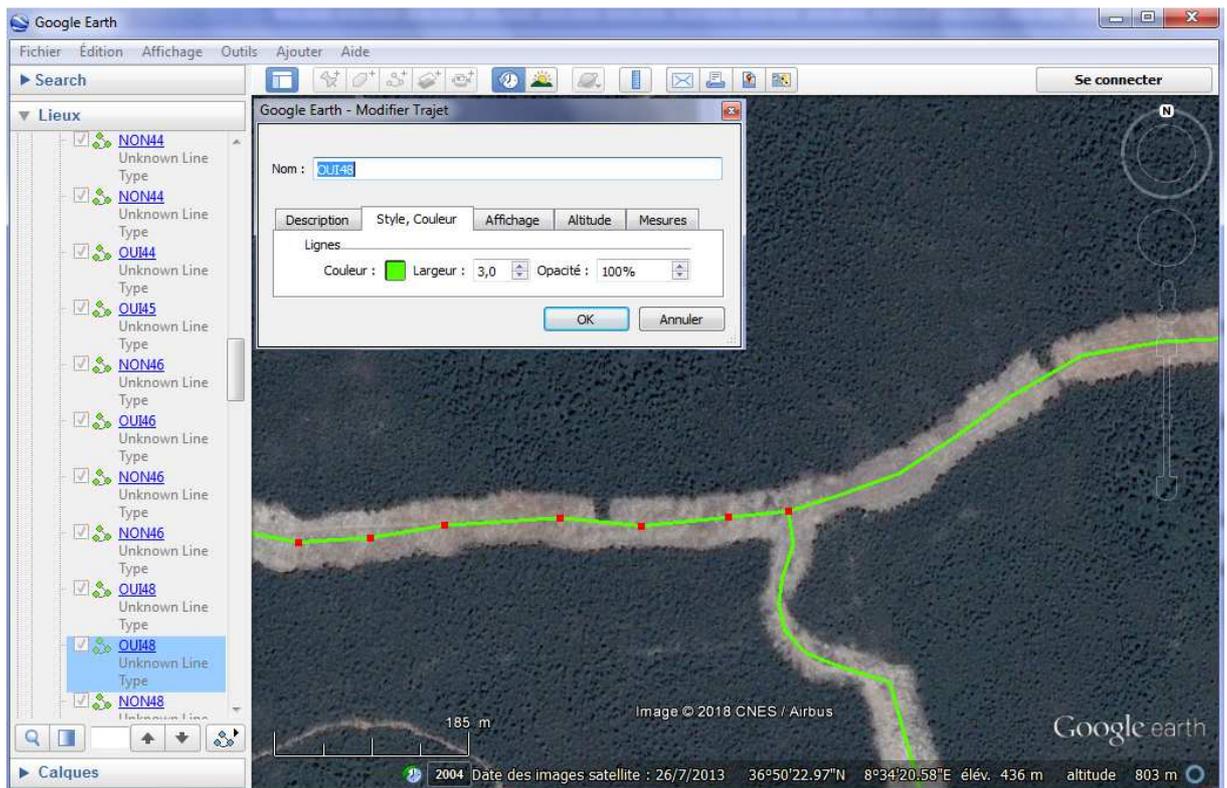
**Figure 33.** Vectorisation des routes de la wilaya d’El Tarf dans Google Earth.



**Figure 34.** Vectorisation et classification des pistes forestières dans Google Earth.

### E) Réseau de défense des forêts contre les incendies (DFCI)

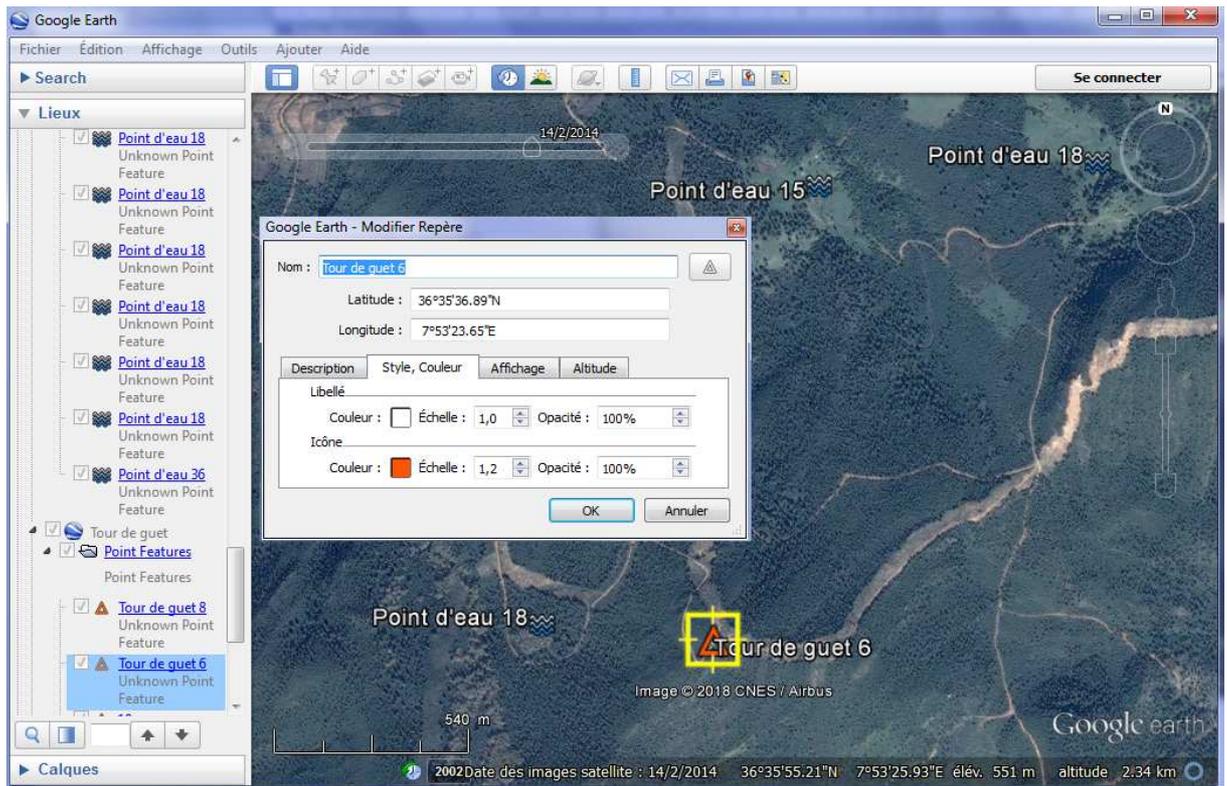
Le réseau de défense des forêts contre les incendies de la wilaya d'El Tarf est constitué de tranchée pare-feu, de point d'eau et de tour de guet. Le logiciel Google Earth a servi à vectoriser toutes les tranchées pare-feu des massifs forestiers à l'aide des images satellites très hautes résolution Pléiades (Figure 35).



**Figure 35.** Vectorisation des tranchées pare-feu dans Google Earth.

Pour les points d'eau et les tours de guet, plus difficiles à détecter sur les images satellites en raison de leur taille réduite, nous avons fait appel aux agents forestiers pour localiser leurs emplacements (Figure 36). Une fois la vectorisation du réseau DFCI achevée, et en collaboration avec les agents forestiers, nous avons renseigné les tables attributaires de chaque couche de donnée avec les informations correspondantes :

- ✓ capacité de stockage en m<sup>3</sup> des points d'eau ;
- ✓ hauteur en m des tours de guet ;
- ✓ état des tranchées pare-feu (entretenues ou non).



**Figure 36.** Vectorisation des points d'eau et tours de guet dans Google Earth.

Par souci d'homogénéité dans le référentiel spatial des données géographiques, toutes les couches vectorisées, corrigées ou mises à jours dans Google Earth sont référencées dans le même système de coordonnées géographiques, le WGS84 (World Geodetic System 1984). De plus, elles ont toutes subi dans le SIG une projection spatiale dans le système de coordonnées projetée UTM (Universal Transverse Mercator) zone 32 Nord, correspondant à notre zone d'étude (wilaya d'El Tarf).

### III.2.3. Structuration de la base de données géographique

Sous technologie ESRI (Environmental Systems Research Institute) avec le logiciel SIG ArcGIS 10.1, nous avons créé une géodatabase, calquée sur le MCD.

### III.2.3.1. Le passage du modèle conceptuel de données à la géodatabase

Le rôle du modèle conceptuel de données (MCD) est essentiel dans la procédure de construction et d'exploitation de la géodatabase ArcGIS-ArcINFO. Il intervient dans trois phases distinctes du circuit de l'information (Figure 37) :

- la phase de chargement initial de la base ;
- la phase de complémentation faisant suite à la précédente pour en combler les manques inévitables ;
- et enfin la phase consistant à l'introduction dans le système des données nouvelles élaborées au fur et à mesure des traitements (application en mise à jour permanente).

Le MCD joue donc un rôle de contrôleur de cohérence des données, indispensable pour baliser la conduite des opérations spatiales.

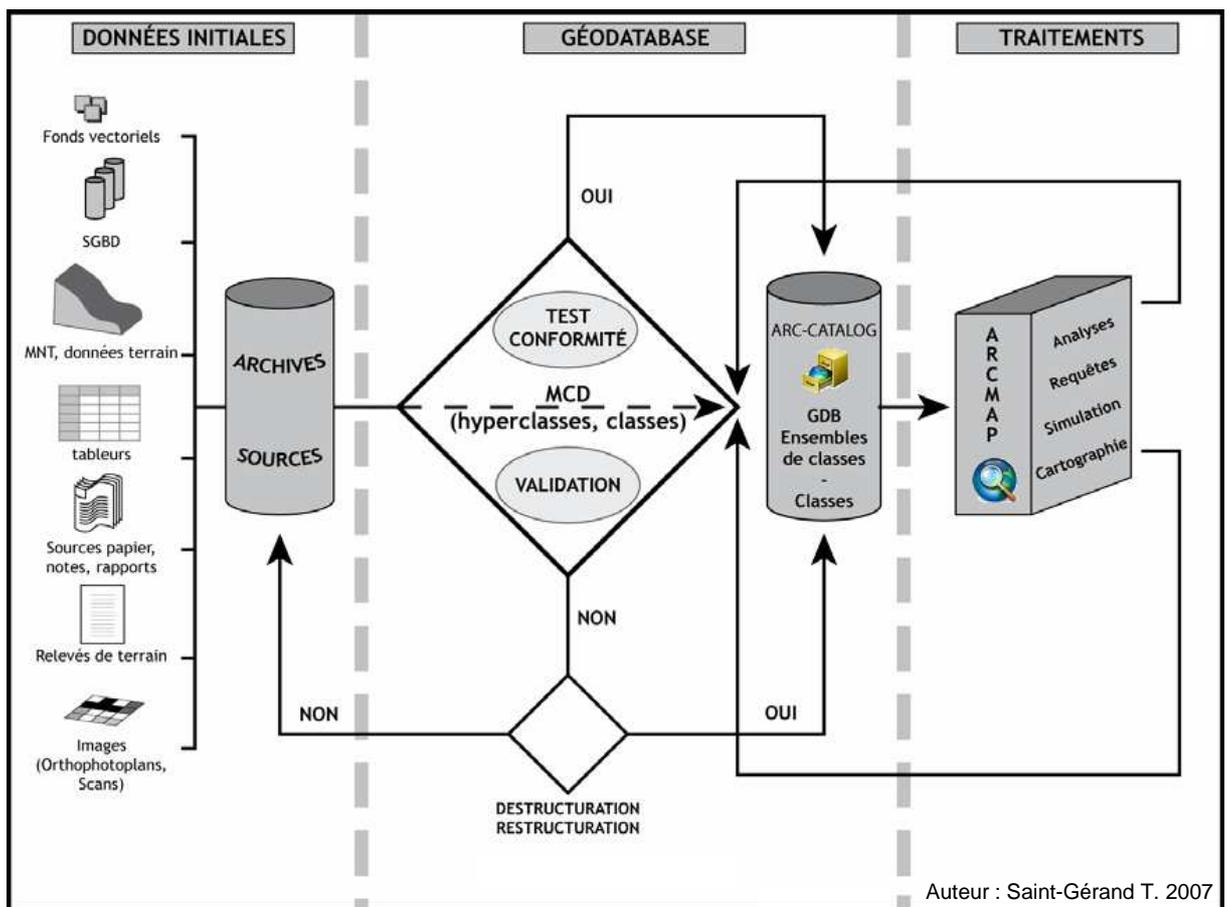


Figure 37. Du modèle conceptuel de données à la géodatabase.

Dans la phase de chargement initial les premiers lots de données proviennent, nous l'avons vu, de sources externes (bases de données diverses, données propres aux institutions,...) différentes de nature, de type, de dates, d'échelles, de thématiques et donc potentiellement très hétérogènes. Le plus souvent, après examen, ces lots ne sont pas intégrables en l'état. Le MCD fournit la « grille » de référence avec laquelle ces différents lots doivent être en conformité. Conformité signifie ici répondre exactement au descriptif des entités (Hyper-classes ou classes) telles qu'identifiées dans le modèle. Si l'adéquation est totale, les données sont entrées directement, selon leur rang, au titre d'hyper-classe ou de classe d'entités (entités spatiales) ou d'objets (enregistrements de base de données attributaire).

Si la conformité au modèle n'est pas vérifiée, ou imparfaitement ou de façon partielle, on entre en deuxième phase : les données n'entrent pas directement dans la géodatabase, mais suivent un parcours de validation, de déstructuration et restructuration, afin d'en tirer les éléments pertinents et utilisables à redistribuer ensuite dans les Hyper-classes et classes correspondantes.

La troisième phase, enfin, traite le cas des résultats d'analyse spatiale (nouvelles classes d'entités, résultats de calculs, zones à risques, etc.) qui, au-delà de leur usage en termes d'information prête à la communication, constituent aussi de nouveaux lots de données à exploiter dans la poursuite des traitements. Certains de ces lots correspondent précisément aux entités prévues dans le modèle, mais d'autres ne sont que des produits intermédiaires obtenus à divers stades de la procédure d'obtention : les premiers seront chargés dans la géodatabase, les seconds sont stockés et indexés dans la structure d'archivage des sources. Ils restent disponibles en cas de besoin éventuel (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

### **III.2.3.2. La géodatabase : principe et schéma**

La géodatabase se compose de jeux de classes d'entités, reprenant l'architecture des différentes couches d'informations nécessaires à la création d'analyses, de requêtes et de cartes sur la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf (Figure 38). Il s'agit d'une structure de stockage, compilant à la fois la localisation des objets, leurs attributs et les relations entre eux. Elle doit permettre de répondre aux questions évoquées dans le modèle conceptuel de données (MCD).

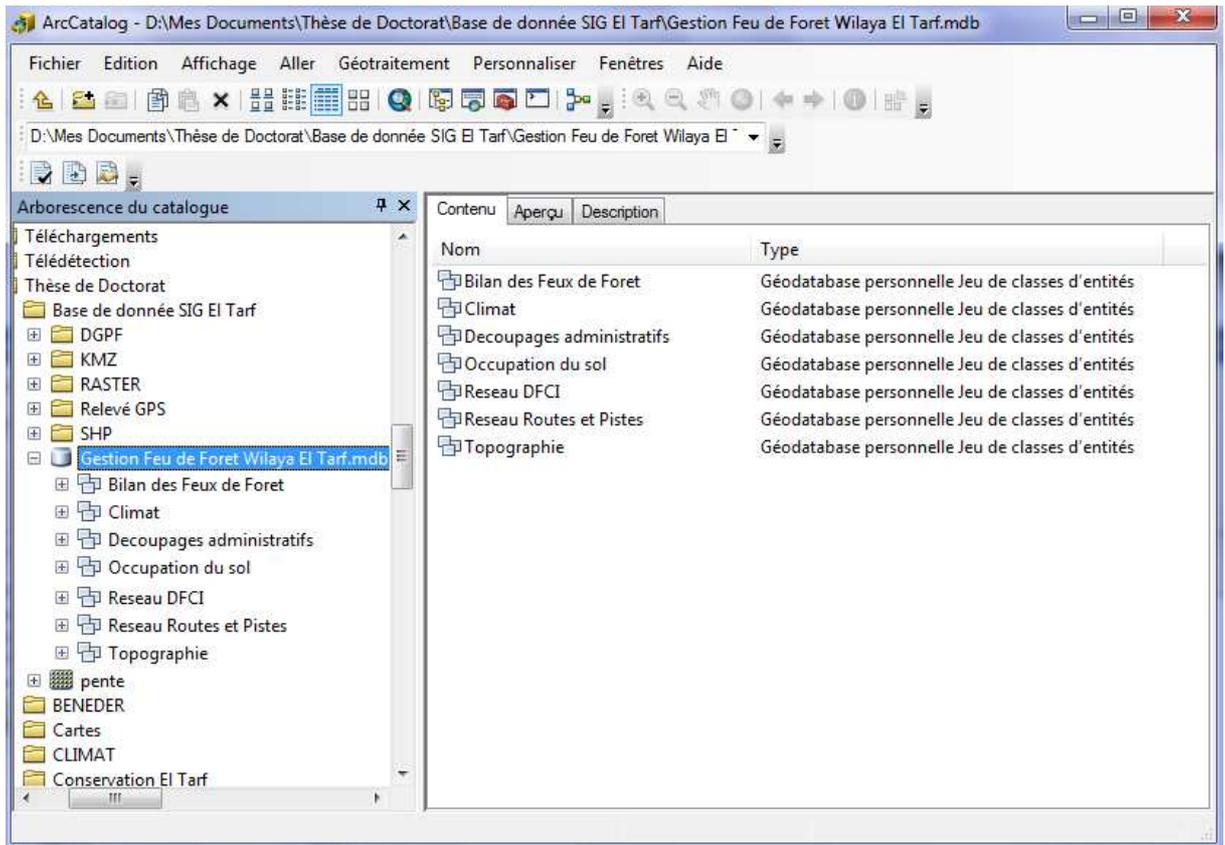


Figure 38. Géodatabase "Gestion des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf".

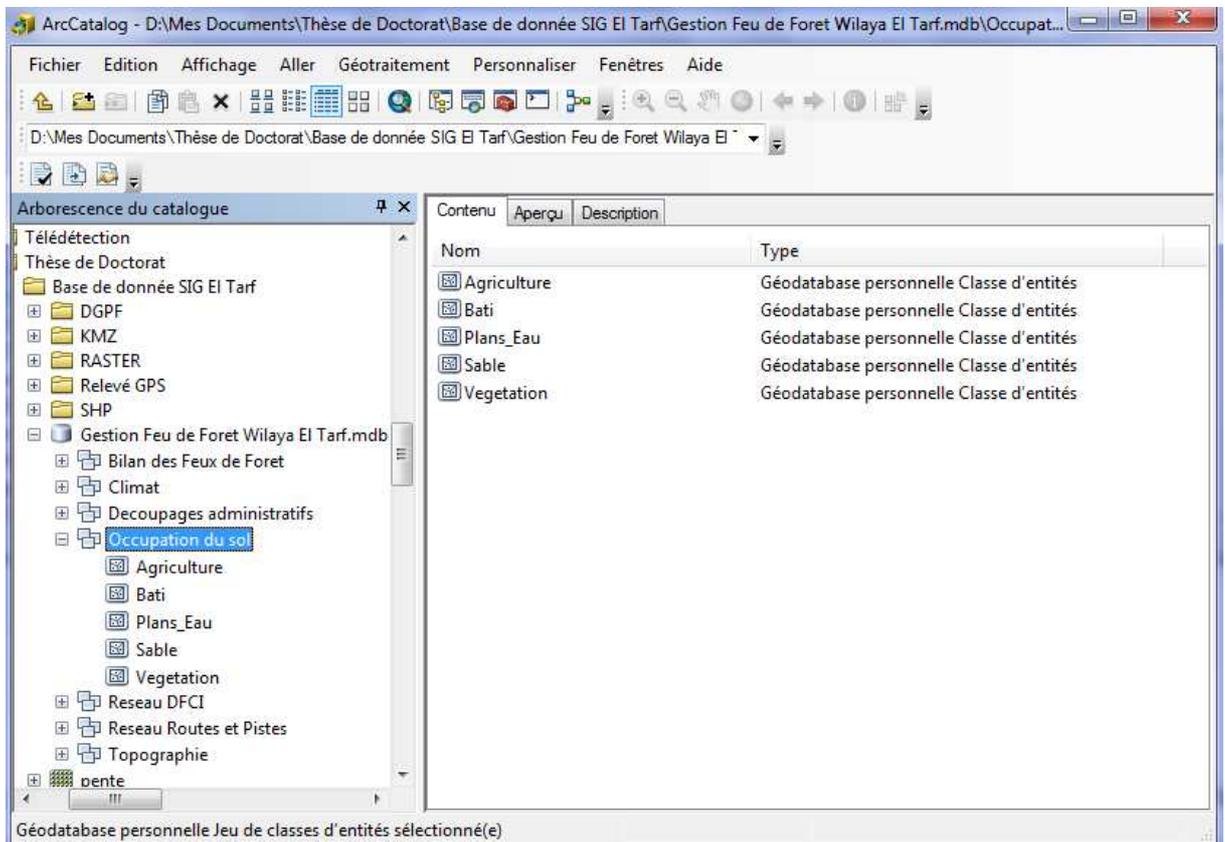
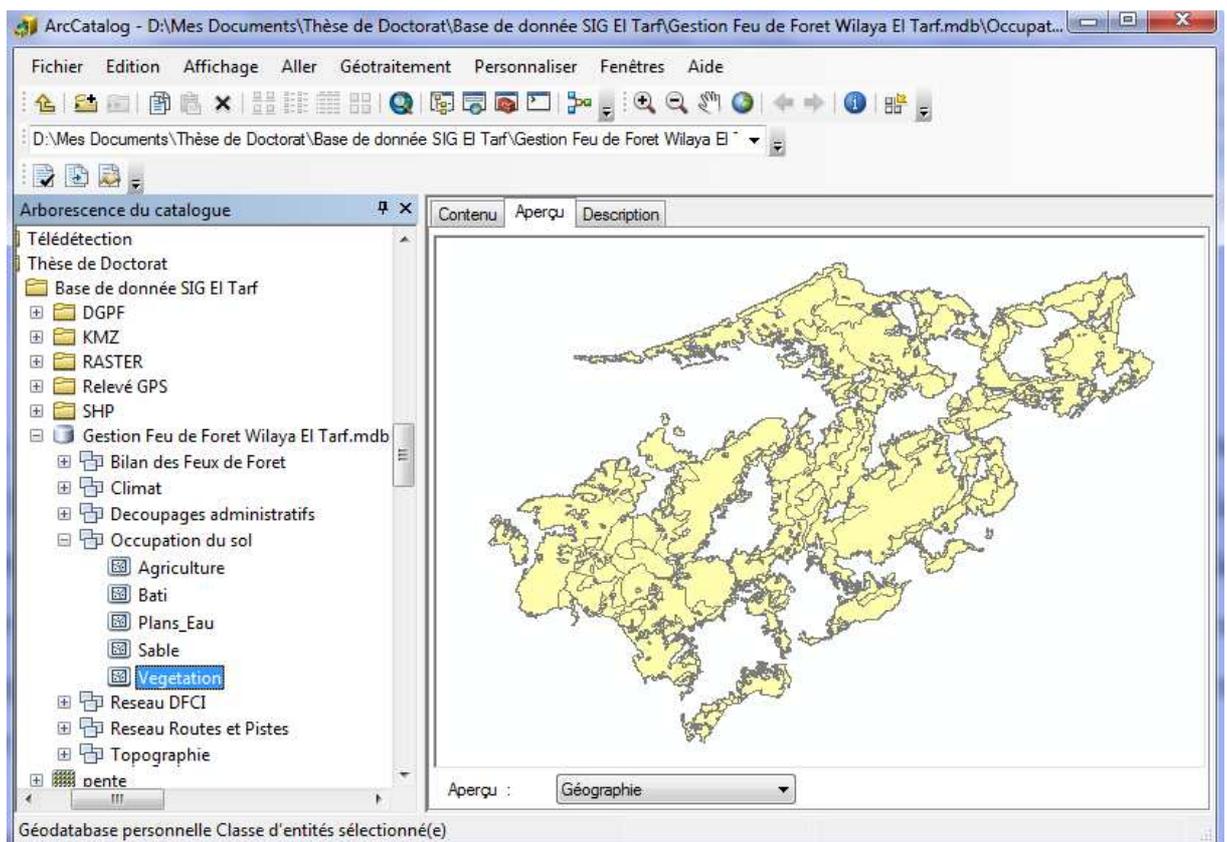


Figure 39. Jeu de classes d'entités "Occupation du sol".

Le jeu de classes d'entités représente le deuxième niveau de la géodatabase. Il comporte toutes les classes d'objets ayant un rapport direct avec le domaine créé, quelle que soit la géométrie des entités contenues (surfaces, lignes ou points). Il correspond au niveau de l'hyper-classe au sein du modèle conceptuel de données (MCD). La figure 39 illustre l'exemple du jeu de classes d'entités "Occupation du sol" qui rassemble les éléments en rapport avec les différents types d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf.

La classe d'entités définit la brique élémentaire du système pour un thème et un niveau de généralisation donnés. Elle se compose d'objets spatiaux répondant au même domaine géométrique (ou point, ou ligne ou polygone), topologique (sans intersection ni recouvrement), et sémantique (description attributaire strictement homogène et sans ambiguïté). Dans la figure 40 apparaît la classe d'entités "Végétation" dans laquelle les polygones spatialisant les surfaces occupées par les formations végétales de la wilaya d'El Tarf.



**Figure 40.** Classe d'entités "Végétation" (partie géométrique et topologique).

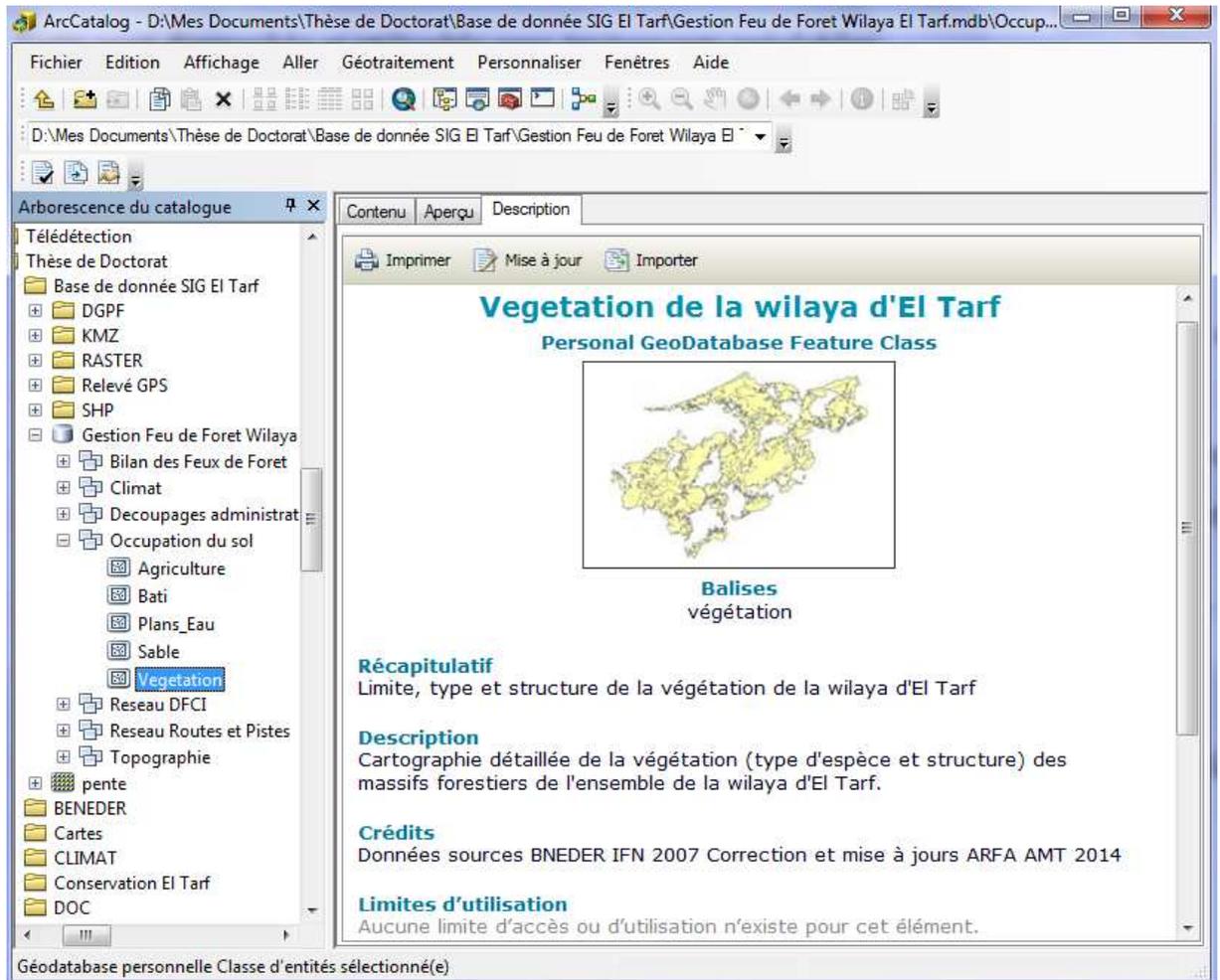
Chaque entité reconnue dans le modèle conceptuel de données est unique dans la géodatabase. La partie géométrique et topologique permet d'apporter des réponses thématiques à des requêtes spatiales. La partie attributaire permet d'apporter des réponses spatiales à des requêtes thématiques (Figure 41).

ID	IMPAC	TYPE_OCCUP	OCCUP	ESSENCE	ESSENCE0	DENSITE
100	F1-F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)PHY-LEN-OLEA		d
100	F1-F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)PHY-LEN-OLEA		d
119	F1-F2	Foret	F	CL	CL pur	c
86	R1	Maquis	M	MaquisCALY		c
52	F1-F2	Foret	F	MaquisPHY-LEN-CALY		c
52	F1-F2	Foret	F	CZ	CZ pur	d
50	F1-F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)PHY-BRU-LEN		d
59	F1-F2	Foret	F	CL	CL pur	d
100	F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)PHY-LEN-OLEA		d
62	F1-F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)LEN-PHY-CALY		c
65	F1-F2	M ar (CL)	M ar (CL)	M ar (CL)OLEA-PHY-LEN		d
121	F1-F2	M ar (PM)	M ar (PM)	M ar (PM)PHY-LEN-BRU		d
47	F1-F2	Foret	F	CL	CL pur	d
43	F1-F2	Foret	F	EUC	EUC pur	d
24	F1-F2	Foret	F	EUC	EUC pur	d
102	F1-F2	Foret	F	PEU	Divers	d
46	F1-F2	Foret	F	EUC	EUC pur	d
40	F1-F2	Foret	F	EUC	EUC pur	d
76	F1-F2	Foret	F	EUC	EUC pur	d
42	F1-F2	Foret	F	PM	PM pur	c
31	F1-F2	Foret	F	PM	PM pur	c
35	F1-F2	Foret	F	CL	CL pur	d

**Figure 41.** Classe d'entités "Végétation" (partie attributaire).

Enfin, pour chaque classe d'entités, des métadonnées (ensemble structuré d'informations décrivant une donnée) sont générées. Il existe plusieurs normes de schémas de gestion. Dans notre cas nous avons adoptée la norme ISO 19115 de 2003.

Les métadonnées permettent de stocker et présenter les informations générales de chaque couche d'information (identification de la ressource, type de représentation spatiale, ...) mais aussi et surtout d'obtenir un aperçu exhaustif du contenu (Figure 42).



**Figure 42.** Métadonnées de la classe d'entités "Végétation".

La constitution d'une base spatio-temporelle adaptée à la gestion du risque feu de forêt dans le territoire de la wilaya d'El Tarf, a nécessité une phase longue et lourde d'intégration et de structuration des données initiales dans un système d'information géographique.

La phase de collecte rigoureuse des données associée à des étapes de vérification, celle de mise en cohérence des données sur la base d'un modèle conceptuel de données représente une étape fondamentale car de la qualité des données, dépend la qualité de l'ensemble des analyses pouvant être menées ultérieurement. Mais à partir de là, s'ouvrent de nombreuses possibilités d'analyse spatiale, d'exploitation de la base (production de nouvelles informations, requêtes, cartographie,...) répondant aux questionnements des acteurs et aidant à la prise de décision (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

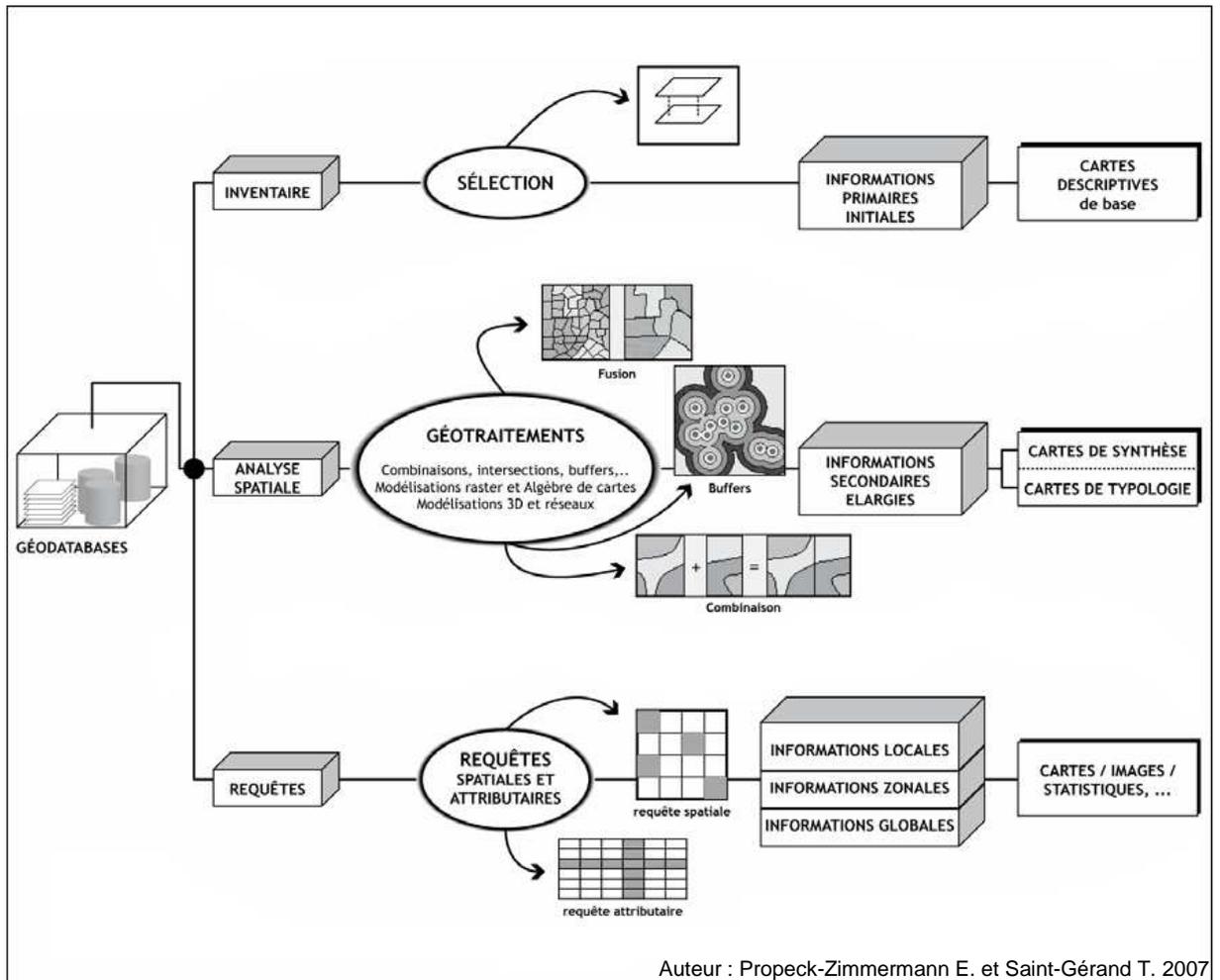
### III.3. Produits SIG pour une bonne gestion des feux de forêts

Le concept de « situation à risques » présenté dans un premier temps, explicité dans un modèle conceptuel de données, puis implémenté dans un SIG, permet dans la dernière étape de construire différents niveaux d'information spatiale et des cartographies associées utiles aux acteurs et à leurs échanges dans le cadre d'une gestion territoriale des risques. La prise de décision dans le domaine de la prévention et gestion du risque feu de forêt nécessite d'avoir à disposition toutes les combinaisons cartographiques pertinentes en terme de croisement des aléas et des vulnérabilités des enjeux.

L'intérêt principal d'un Système d'Information Géographique est d'éclater la complexité d'un phénomène en autant de couches descriptives thématiques et spatiales que nécessaire, de combiner ces couches pour en extraire des informations nouvelles, plus synthétiques et de leur appliquer des requêtes et des traitements d'analyse spatiale de façon interactive. Les traitements sur les données, les combinaisons d'entités spatiales (et non leur simple superposition) font remonter à la surface des niveaux d'information jusqu'alors « noyés dans la masse ». Récupérables dans la géodatabase sous forme de couches, ils ouvrent un éventail de possibilités cartographiques auparavant inaccessibles. La cartographie est un outil indispensable pour identifier, localiser, analyser et communiquer les situations de risques à différentes échelles ; son rôle fondamental est d'apporter une aide à la concertation et la prise de décision (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2007).

La dernière étape de la recherche, qui en est le but même, consiste ainsi à construire les différents niveaux d'information spatiale utiles à la concertation et à la prise de décision (Figure 43) :

- ✓ l'**inventaire spatial** : avec la production de cartes analytiques pour localiser, repérer, analyser la répartition d'un ou plusieurs objets ou phénomènes sélectionnés ;
- ✓ la **synthèse spatiale** : avec la réalisation de cartes de synthèse pour révéler par la combinaison de critères des espaces sous-jacents ;
- ✓ les **combinaisons caractéristiques** : avec l'élaboration de cartes de typologies pour cerner, sur critères multiples, des ensembles spatiaux caractéristiques d'une situation à risques ;
- ✓ les **requêtes ciblées** (simples ou combinées) pour répondre de façon interactive aux questions d'acteurs.



**Figure 43.** Système d'Information Géographique et niveaux d'information spatiale.

### III.3.1. Inventaire spatial : Cartes descriptives de base

Au cours de cette étape, les informations primaires initiales sont utilisées pour réaliser des cartes descriptives de base pour la wilaya d'El Tarf :

- ✓ carte d'occupation du sol ;
- ✓ carte des formations forestières ;
- ✓ carte du modèle numérique de terrain ;
- ✓ carte du réseau de routes et pistes forestières ;
- ✓ carte du réseau D.F.C.I. (Défense des Forêts Contre les Incendies).
- ✓ carte de localisation des départs de feux déclarés entre 1985 et 2012.

### III.3.2. Analyse spatiale : Cartes synthétiques et typologiques

Au cours de cette étape, les outils de géotraitement sont appliqués aux informations primaires initiales pour générer des informations secondaires élargies, nécessaires pour réaliser des cartes de synthèse et de typologie, utiles pour la gestion des feux de forêts.

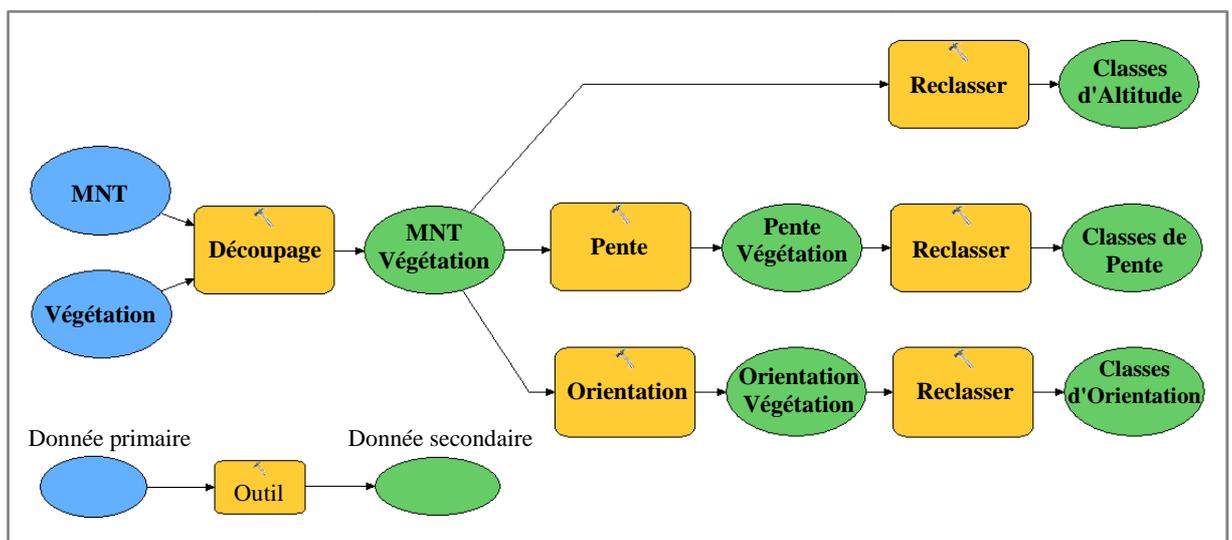
#### III.3.2.1. Analyse temporelle des feux de forêts pour la période 1985-2012

Une analyse temporelle détaillée des fréquences horaire, mensuelle et annuelle des feux de forêts, déclarés entre 1985 et 2012 au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, est réalisée à partir des données attributaires de la couche "Bilan des Feux de Forêts".

#### III.3.2.2. Étude topographique des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

L'étude topographique des massifs forestiers permet de réaliser, par la suite, une analyse topographique des feux de forêts entre 1985 et 2012.

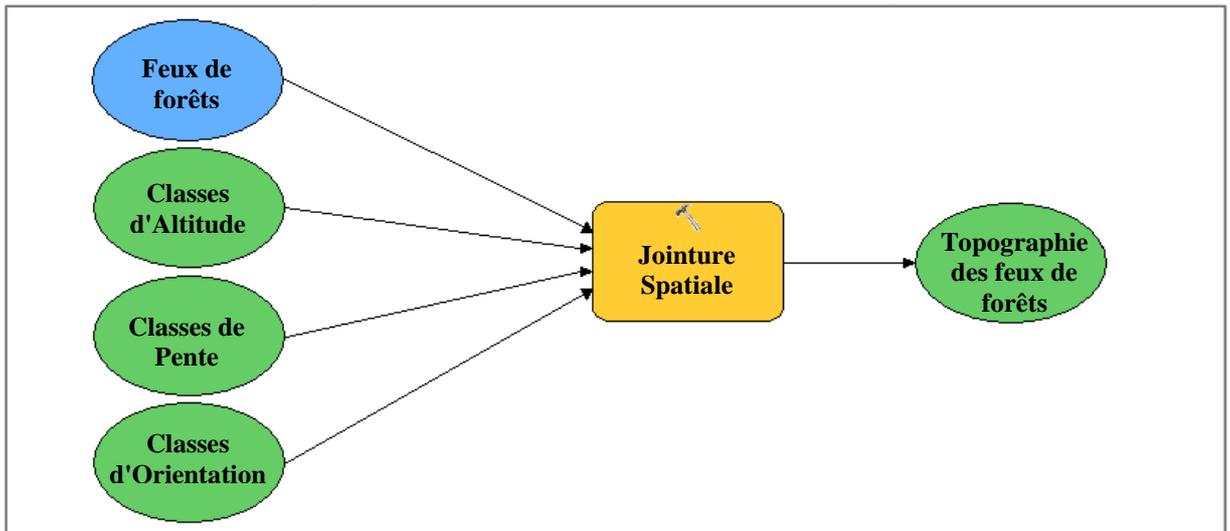
Les paramètres topographiques étudiés sont : l'altitude, la pente et l'orientation des pentes. Ces paramètres sont calculés à partir du modèle numérique de terrain (MNT) en utilisant les différents outils SIG (Figure 44). La couche "Végétation" est utilisée pour le découpage du MNT.



**Figure 44.** Modèle de calcul des paramètres topographiques des massifs forestiers.

### III.3.2.3. Analyse topographique des feux de forêts entre 1985 et 2012

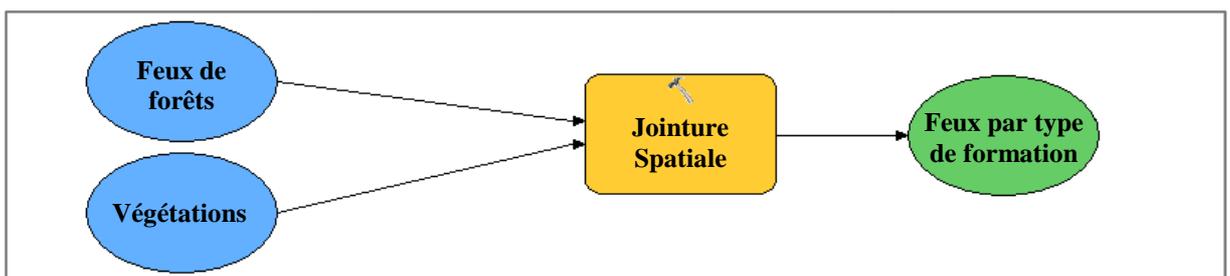
L'analyse topographique des feux de forêts nécessite une jointure spatiale entre la couche de donnée "Feux de forêts" et les couches "Classes d'altitude", "Classes de pente" et "Classes d'orientation" (Figure 45). Le résultat de cette jointure est transcrit directement dans la table attributaire de la couche "Feux de forêts".



**Figure 45.** Modèle d'analyse des paramètres topographiques des feux de forêts.

### III.3.2.4. Analyse des feux de forêts en fonction des formations forestières

L'analyse des feux de forêts par type de formation forestière traite deux paramètres : la répartition du nombre de feux suivant le type d'essence et la surface brûlée de chaque formation forestière. Le calcul de la surface brûlée est réalisé à partir des données attributaires de la couche "Bilan des Feux de Forêts". Cependant, la répartition du nombre de feux suivant le type d'essence nécessite une jointure spatiale entre la couche de donnée "Feux de forêts" et la couche "Végétation" (Figure 46).



**Figure 46.** Modèle d'analyse des départs de feux suivant les formations forestières.

### III.3.2.5. Étude météorologique des feux de forêts

L'étude météorologique des feux de forêts entre 1985 et 2012 est réalisée grâce aux données disponibles gratuitement sur le site espagnol "Tutiempo.net". Ce site web propose des données historiques, qui remontent dans certains cas à 1929, couvrant plus de 9.000 stations dans le monde entier. Les données historiques sont sous forme de moyennes annuelles, moyennes mensuelles et données journalières.

Les paramètres météorologiques retenus pour notre étude sont ceux qui influencent fortement l'éclosion et la propagation des feux de forêts, à savoir :

- ✓ la température maximale journalière ;
- ✓ le taux d'humidité de l'air journalier ;
- ✓ la vitesse maximale journalière de vent soutenu.

Les données utilisées sont issues de la station météorologique d'El Kala située dans la wilaya d'El Tarf, localisé à 36° 54' N et 8° 27' E avec une altitude de 13 m. Cependant, cette station présente d'importantes lacunes durant certaines périodes annuelles, mensuelles et même journalières. Pour cette raison, nous avons étudié uniquement les feux de forêts disposant de données météorologiques. Sur les 3.249 départs de feux, 1.043 disposent d'information sur la température maximale et le taux d'humidité de l'air et seulement 413 en ce qui concerne la vitesse maximale de vent soutenu.

Les données concernant la température maximale journalière ont été corrigées pour prendre en compte le paramètre altitudinal des départs de feux. Pour ce faire, nous avons d'abord calculé la différence d'altitude entre la station météorologique et les points de départ des feux, puis nous avons appliqué les valeurs des gradients altitudinaux des moyennes maximales des températures (Tableau 14). Ces gradients thermiques, calculés pour chaque mois, ont été proposés et corrigés par Benderradji (2000).

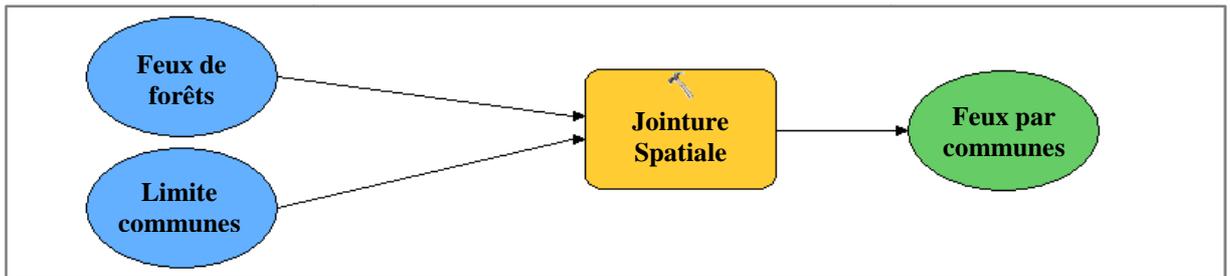
**Tableau 14.** Les gradients thermiques mensuels de l'extrême Nord Est algérien.

Mois	Juin	Juil.	Août	Sep	Oct.
<b>Gradients mensuels des maximas (°C)</b>	0,45	0,38	0,33	0,52	0,54

Source : Benderradji, 2000.

### III.3.2.6. Analyse spatiale des feux de forêts suivant les communes

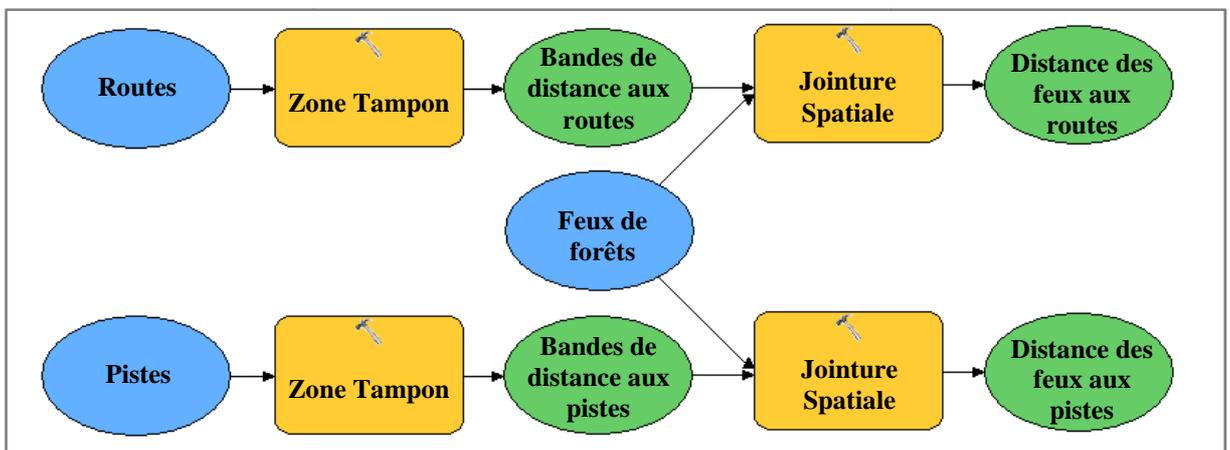
Cette partie, analyse la répartition du nombre de feux et des surfaces brûlées suivant les 24 communes de la wilaya d'El Tarf. Le calcul du nombre de feu et de la surface brûlée est réalisé à partir des données attributaires de la couche "Feux de forêts", mais nécessite, au préalable, une jointure spatiale avec la couches "Limite communes" (Figure 47).



**Figure 47.** Modèle d'analyse des feux de forêts suivant les communes.

### III.3.2.7. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières

L'analyse de la répartition spatiale des feux de forêts, en fonction du réseau routier et des pistes forestières, nécessite de créer des zones tampon à partir des couches "Routes" et "Pistes". L'intervalle de distance retenu est de 100 m. Une fois les zones tampon créées, une jointure spatiale est réalisée entre celles-ci et la couche de donnée "Feux de forêts" (Figure 48). Le résultat de cette jointure, exprimé en distance entre les feux et les routes et pistes forestières, est transcrit directement dans la table attributaire de la couche "Feux de forêts".



**Figure 48.** Modèle d'analyse des feux de forêts en fonction des routes et pistes forestières.

### III.3.2.8. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine

Ce type d'analyse permet d'étudier la distribution spatiale des feux de forêts, en fonction des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture. Elle nécessite de créer des zones tampon à partir des couches "Bâti" et "Agriculture", avec un intervalle de distance de 100 m. Pour le bâti 3 catégories ont été étudiées séparément : les villages, les maisons rurales éparses et les fermes isolées. Une jointure spatiale est réalisée entre toutes les zones tampon et la couche de donnée "Feux de forêts" (Figure 49). Le résultat de cette jointure, exprimé en distance entre les feux et les interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture, est transcrit directement dans la table attributaire de la couche "Feux de forêts".

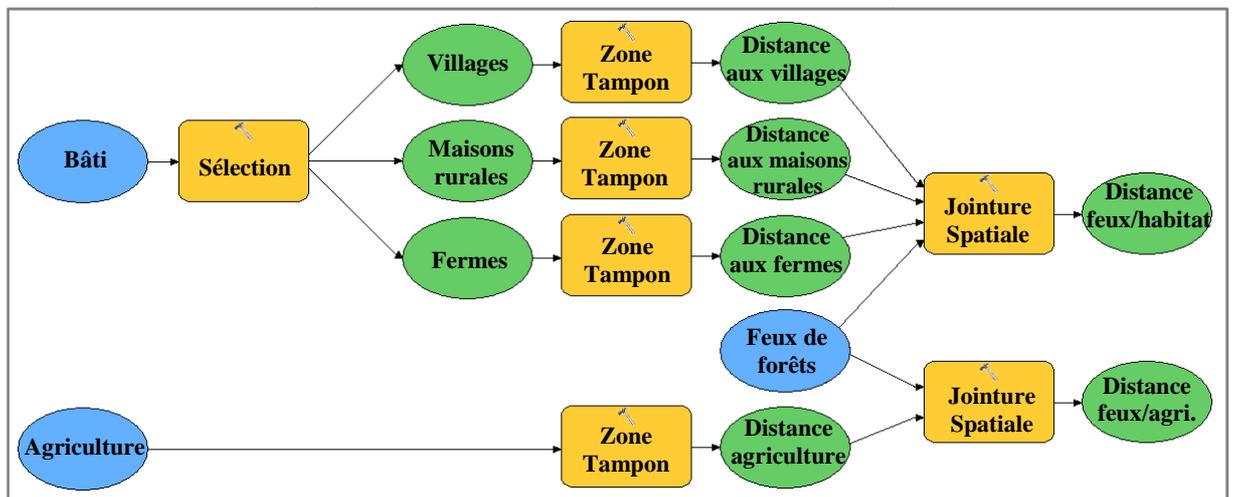


Figure 49. Modèle d'analyse des feux de forêts suivant l'occupation humaine.

### III.3.3. Requêtes spatiales et attributaires

Cette partie est consacrée aux réponses apportées aux différentes questions d'acteurs sur le risque feu de forêt dans la wilaya d'El Tarf. Parmi les questions les plus importantes on peut citer :

- quelles sont les zones présentant un risque élevé de départ de feu ?
- quelles sont les zones présentant un risque important en termes de combustibilité et de propagation du feu ?
- le réseau DFCI est-il réellement efficace face au risque feu de forêt ?

### III.3.3.1. Modélisation du risque de départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

Le risque de départ de feux est étroitement lié à l'action anthropique. En Algérie, entre 1985 et 2006, 86% des départs de feux, dont l'origine est connue, sont volontaire. Les principaux critères qui interviennent dans la modélisation du risque de départ de feux sont :

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

Pour la modélisation du risque de départ de feux, nous proposons l'indice de départ de feux (IDF) exprimé par la relation suivante :

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

Où :

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

$R_{\text{MR}}$  est le niveau de risque lié à la proximité des maisons rurales éparses ;

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

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

Les valeurs du niveau de risque R, pour chaque critère, sont comprises entre 1 (risque faible) et 5 (risque très élevé). Ces niveaux de risques sont déterminés en fonction du pourcentage du nombre de feux déclarés entre 1985 et 2012 et la distance qui les séparent de chaque critère. Les niveaux de risque retenus sont :

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

Le tableau 15 illustre l'exemple de la détermination des niveaux de risque R lié aux pistes forestières.

**Tableau 15.** Détermination des niveaux de risque R relatifs à la distance aux pistes forestières.

Distance aux pistes forestières	De 0 à 100 m	De 101 à 250 m	De 251 à 500 m	De 501 à 800 m	Plus de 800 m
Nombre de feux	1137	975	650	325	162
% du nombre de feux	35%	30%	20%	10%	5%
Niveau du risque (R)	5	4	3	2	1

Le calcul de l'indice de départ de feux IDF nécessite de créer des zones tampon à partir des couches "Bâti", "Agriculture" et "Pistes" avec un intervalle de distance variable en fonction du pourcentage de départ de feux. Pour le bâti seul les fermes isolées et les maisons rurales éparses ont été sélectionnées. Une jointure spatiale est réalisée entre toutes les zones tampon et la couche de donnée "Feux de forêts". Le résultat de cette jointure, exprimé en distance entre les feux et les fermes, maisons rurales, terres de culture et pistes forestières, est transcrit directement dans la table attributaire, afin de calculer le risque R pour chaque catégories, nécessaires au calcul de l'indice de départ de feux. La couche "Végétation" a été utilisée pour le découpage des limites de la couche IDF.

Les valeurs de l'indice de départ de feux sont comprises entre 4 et 20. Il est codé en 5 classes :

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

La figure 50 résume sous forme d'un modèle de traitements toutes les étapes et outils nécessaires au calcul de l'indice de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.

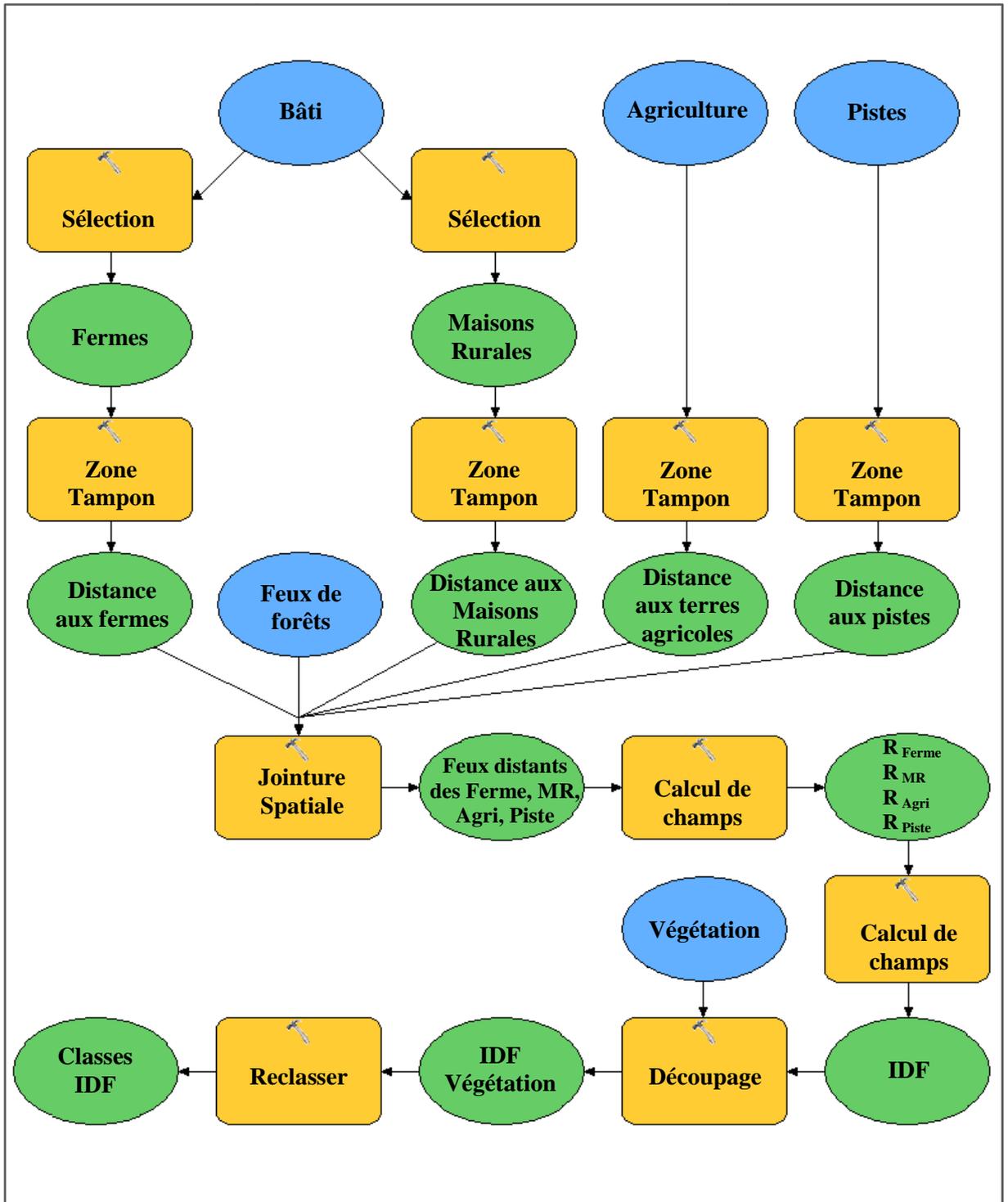


Figure 50. Modèle de calcul de l'indice de départ de feux IDF des forêts de la wilaya d'El Tarf.

### III.3.3.2. Modélisation de la combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

Les principaux critères qui interviennent dans la propagation d'un feu de forêt, sont la structure spatiale du combustible (recouvrement horizontal et stratification verticale) et le type d'espèces dominantes. Ces espèces qui caractérisent les formations en raison de leur importance constitutive influent sur la combustibilité des peuplements intrinsèques (Trabaud, 1980).

Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC) nous utilisons une méthode mise au point par Alexandrian (1982), en France au niveau du CEMAGREF, rebaptisé en 2012 IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture). Cette méthode, qui permet d'estimer la gravité potentielle d'un feu démarré dans un peuplement forestier déterminé, consiste en la mise au point d'un modèle empirique, basé sur l'expérience des sapeurs-pompiers pour pondérer les termes d'une expression mathématique, dont les paramètres proviennent d'une description normalisée de la végétation. C'est ainsi qu'un indice d'intensité potentielle du feu (ou indice de combustibilité) a été exprimé par la relation suivante :

$$IC = 39 + 0,23 BV (E_1 + E_2 - 7,18)$$

**BV** est le biovolume de la formation végétale. Il est obtenu par addition des taux de recouvrement de chacune des 4 strates de végétation (ligneux hauts, ligneux bas, herbacées et litière) auxquels on ajoute le taux de recouvrement des chicots et bois morts, s'il y a lieu. Chacun de ces taux de recouvrement est compris entre 0 (absence de strate) et 10 (strate formant un couvert fermé) ; le biovolume est donc compris entre 0 et 50.

**E<sub>1</sub>** et **E<sub>2</sub>** sont les notes d'intensité calorifique (comprises entre 1 et 8) des deux espèces dominantes : **E<sub>1</sub>** pour les ligneux hauts et **E<sub>2</sub>** pour les ligneux bas ou herbacées.

Les notes d'intensité calorifique, des espèces présentes dans les massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, ont été obtenues à partir de la liste des principales espèces dominantes de la végétation méditerranéenne, établie par le CEMAGREF. Cependant, les notes d'intensité calorifique de l'eucalyptus et de l'acacia ont été extraites à partir des travaux de Valette (1990), alors que celle du chêne liège a été citée par Peyre (2004).

Il est important de noter que la combustibilité d'une formation végétale apparaît ici clairement comme dépendant avant tout des espèces qui la composent. Le biovolume intervient de façon différente suivant la valeur de la somme  $E_1+E_2$ . Si cette somme est inférieure à 7,18 (espèces peu combustibles ou à pouvoir calorifique par unité de biovolume faible), l'indice reste inférieur à 40. Dans le cas contraire, il sera d'autant plus élevé que le biovolume sera important (CEMAGREF, 1990). L'indice de combustibilité peut atteindre théoriquement 140. Il est codé en 5 classes :

1. Faible :  $IC < 40$
2. Modéré :  $40 \leq IC < 50$
3. Moyen :  $50 \leq IC < 60$
4. Élevé :  $60 \leq IC < 70$
5. Très élevé :  $IC \geq 70$

En ce qui concerne l'estimation du biovolume de l'ensemble des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, nous avons eu recours à la télédétection en utilisant l'indice de végétation par différence normalisé NDVI. Plusieurs auteurs ont utilisé cet indice pour estimer le biovolume afin de calculer l'indice de combustibilité. Parmi les plus récents, on peut citer les travaux de Faleh *et al.*, (2012) sur l'évaluation du risque d'incendie de forêts à l'aide du SIG et de la télédétection dans le massif forestier Khezana, province de Chaouene au Maroc.

L'estimation du biovolume à partir de l'NDVI nécessite plusieurs étapes :

- choix du satellite ;
- acquisition des images ;
- calcul de l'NDVI ;
- estimation du biovolume à partir de l'NDVI.

#### **A) Choix du satellite**

Parmi les différents types de satellite disponibles, notre choix s'est porté sur la mission Sentinel-2. C'est une série de satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne dont les deux premiers exemplaires, qui sont identiques, ont été mis en orbite en 2015 (Sentinel-2A) et 2017 (Sentinel-2B) (Figure 51).



**Figure 51.** Système d'imagerie spatiale à très haute résolution Sentinel-2.

Ce sont les caractéristiques principales des images qui ont guidé notre choix, à savoir :

- ✓ haute résolution spatiale : 10m-20m en fonction des bandes spectrales ;
- ✓ grande couverture : toutes les terres, 290 km de fauchée ;
- ✓ fréquence de revisite : 5 jours avec 2 satellites ;
- ✓ richesse spectrale : 13 bandes spectrales ;
- ✓ angles de prise de vue constants : pas d'effets directionnels ;
- ✓ qualité des images excellente ;
- ✓ données ouvertes et gratuites ;
- ✓ produits "prêts à l'emploi" :
  - produit 1C : ortho-rectifié sans correction atmosphérique ;
  - produit 2A : ortho-rectifié avec correction atmosphérique ;
  - produit 3A : synthèse mensuelle de réflectances de surface.

Le CNES (Centre National d'Études Spatiales) met à disposition de manière libre et gratuite les données des Sentinel-2 de niveau 1C sur sa plateforme internet PEPS (Plateforme d'exploitation des produits Sentinel) (<https://peps.cnes.fr>). Il fournit également des produits corrigés des effets atmosphériques de niveau 2A et 3A par l'intermédiaire du Pôle Thématique Surfaces Continentales THEIA (<https://theia.cnes.fr>).

## B) Acquisition des images

L'acquisition des images satellite Sentinel-2 s'est fait à travers le site web du Pôle Thématique Surfaces Continentales THEIA. Ce sont des produits de niveau 2A avec des images mono-dates ortho-rectifiées, exprimées en réflectance de surface, accompagnées d'un masque de nuages/ombres de nuages/neige/eau. Ces images déjà corrigées ne nécessitent donc aucun prétraitement.

L'indice de végétation NDVI étant basée sur l'activité photosynthétique, il est très important de bien choisir la date de prise de vue, car les conditions de terrain varient beaucoup au cours des saisons.

L'estimation du biovolume global de la végétation doit être réalisée durant la période où l'activité photosynthétique est à son maximum, généralement durant la saison printanière. Parmi les différentes dates disponibles, nous avons choisi celle du 30/03/2016 qui à la fois correspond à la saison printanière et affiche un taux de couverture nuageuse égal à 0%.

On note également que la wilaya d'El Tarf est à cheval sur deux tuiles d'images adjacentes du satellite Sentinel-2A : T32SLF et T32SMF (Figure 52). Une opération de mosaïque est donc nécessaire pour assembler les deux tuiles dans une seule image.



**Figure 52.** Tuiles d'images Sentinel-2A couvrant la wilaya d'El Tarf du 30/03/2016.

### C) Calcul de l'NDVI

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou indice de végétation par différence normalisée est le plus ancien et le plus utilisé des indices de végétation. Il est lié à l'activité du couvert végétal, en effet les pigments foliaires (chlorophylle, xanthophylle, carotène...) absorbent fortement le rayonnement dans le rouge alors que le parenchyme réfléchit une grande partie du rayonnement dans le proche infrarouge. Si l'on se place dans le cas d'un couvert végétal en plein développement, la réflectance de celui-ci dans le proche infrarouge augmentera alors qu'elle diminuera dans le domaine du rouge. C'est le signe d'un bon développement. L'inverse se produit donc pour la végétation en fin de cycle.

L'NDVI est calculé à partir des bandes spectrales rouges (R) et proches infrarouge (PIR) selon l'équation suivante :  $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ . Cet indice est sensible à la vigueur et à la densité de la végétation.

Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau et les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs positives, généralement comprises entre 0,1 et 1. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses (Sellers, 1985).

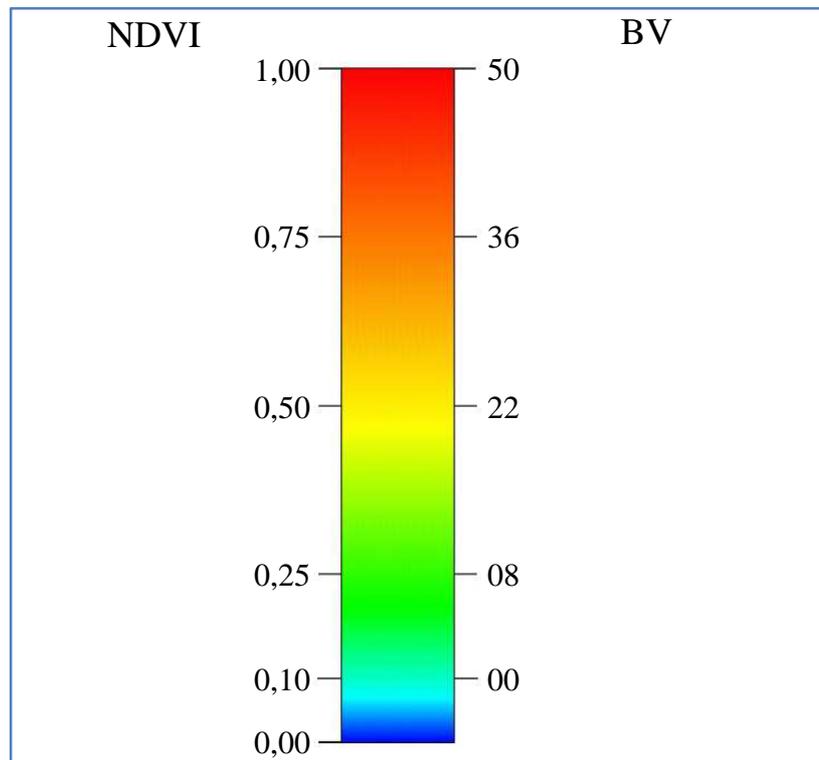
Le calcul de l'NDVI des images Sentinel-2 a été réalisé à l'aide des boîtes à outils « Toolboxes », proposé par l'Agence Spatiale Européenne, qui partagent une architecture commune appelée SNAP (Sentinel Application Platform). Ce sont des boîtes à outils open source gratuites et performantes développées spécialement pour les données des satellites Sentinel et disponibles sur le site web STEP (Science Toolbox Exploitation Platform) (<http://step.esa.int/main/download/>).

Une fois l'NDVI des deux images (T32SLF et T32SMF) calculé, les données sont transférées vers le SIG pour réaliser une mosaïque afin d'obtenir une seule image.

Enfin, la couche "Végétation" est utilisée pour le découpage de l'NDVI pour ne garder que les valeurs des massifs forestiers. L'image raster "NDVI" doit être convertie en vecteur pour pouvoir manipuler les valeurs des champs de la table attributaire.

#### D) Estimation du biovolume à partir de l'NDVI

L'estimation du biovolume global de la végétation à partir de l'NDVI, nécessite de mettre en place une échelle d'équivalence entre les deux valeurs. Sachant que les valeurs théoriques du biovolume varient entre 0 et 50 et que celles de l'NDVI, concernant la végétation, sont comprises entre 0,1 et 1, il suffit donc de faire correspondre ces deux intervalles. Dans ce cas, la valeur 0,1 de l'NDVI correspondra à la valeur 0 du biovolume et celle de 1 sera équivalente à 50 (Figure 53).

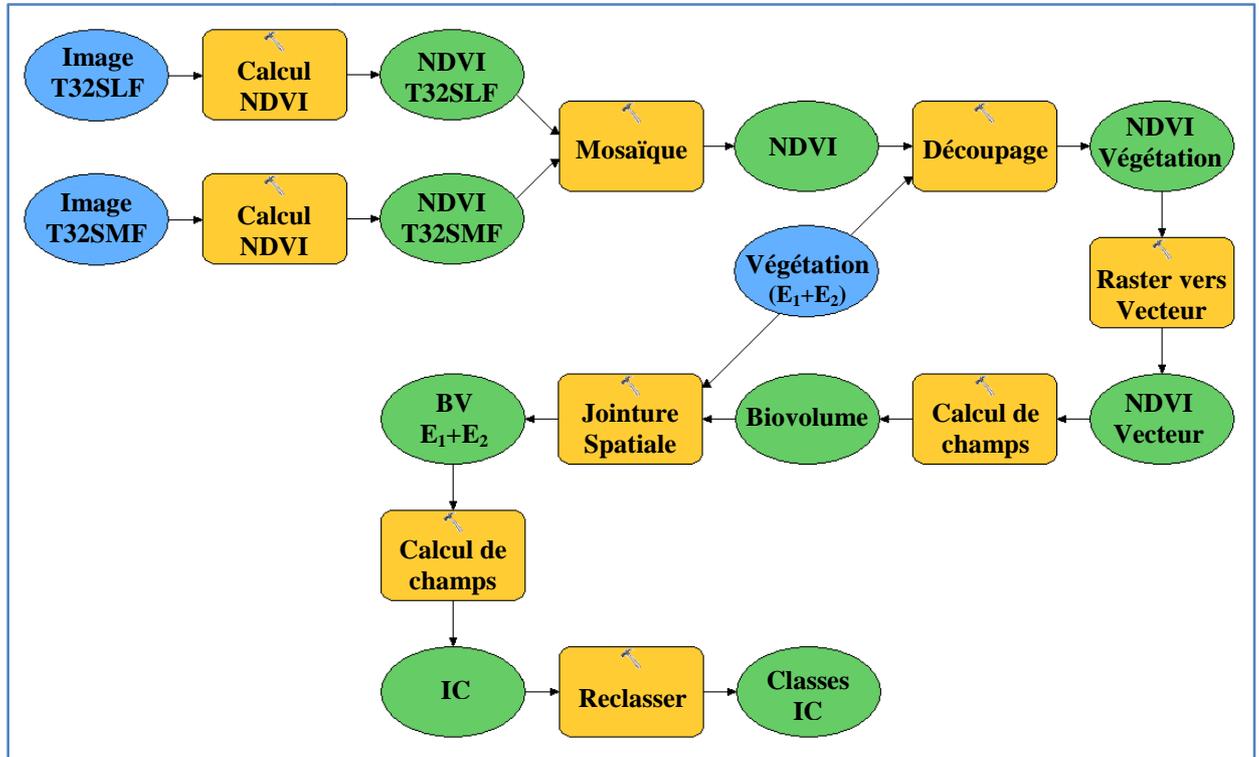


**Figure 53.** Échelle d'équivalence entre les valeurs de l'NDVI et du biovolume.

Cependant, avant d'effectuer cette équivalence, une dernière étape de validation doit être réalisée pour vérifier si les valeurs de l'NDVI calculées sur l'image satellite expriment bien la quantité réelle du biovolume. Les valeurs du biovolume estimées sur terrain au niveau de 96 relevés, répartis sur l'ensemble des massifs forestiers, ont été comparées avec les valeurs correspondantes de l'NDVI, grâce aux coordonnées GPS.

La couche "Biovolume" ainsi créée, sera combinée à la couche "Végétation" qui renferme les notes d'intensité calorifique des différentes espèces dominantes des massifs forestiers, afin de calculer l'indice de combustibilité IC.

La figure 54 résume sous forme d'un modèle de traitements toutes les étapes et outils nécessaires au calcul de l'indice de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.



**Figure 54.** Modèle de calcul de l'indice de combustibilité IC des forêts de la wilaya d'El Tarf.

### III.3.3.3. Modélisation du risque feux de forêts de la wilaya d'El Tarf

Le risque feux de forêts résulte de la combinaison entre la probabilité d'occurrence des feux, exprimé par l'indice de départ de feux IDF, et leur gravité, exprimée par l'indice de combustibilité IC.

Pour la modélisation du risque feux de forêts, nous proposons l'indice de risque IRF exprimé par la relation suivante :

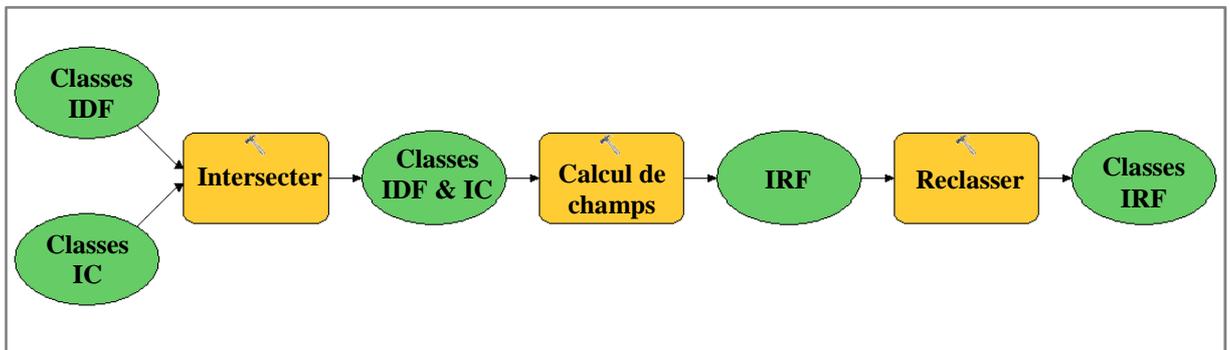
$$\text{IRF} = \text{IDF} + \text{IC}$$

Où :

**IDF** est l'indice de départ de feux ;

**IC** est l'indice de combustibilité.

Le calcul de l'indice de risque feux de forêts nécessite de réaliser une intersection entre la couche "Classes IDF" et la couche "Classes IC" (Figure 55).



**Figure 55.** Modèle de calcul de l'indice de risque feux de forêts IRF de la wilaya d'El Tarf.

Les valeurs de l'indice de risque feux de forêts sont comprises entre 2 et 10. Il est codé en 5 classes :

1. Faible :  $IRF = 2$ .
2. Modéré :  $2 < IRF \leq 4$ .
3. Moyen :  $4 < IRF \leq 6$ .
4. Élevé :  $6 < IRF \leq 8$ .
5. Très élevé :  $IRF > 8$ .

### III.3.3.4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt

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

La réponse à cette question est obtenue par une jointure spatiale de la couche "Classes IRF" avec les différentes couches du réseau DFCI : "Point d'eau", "TPF", "Tour de guet" et "Pistes" (Figure 56).

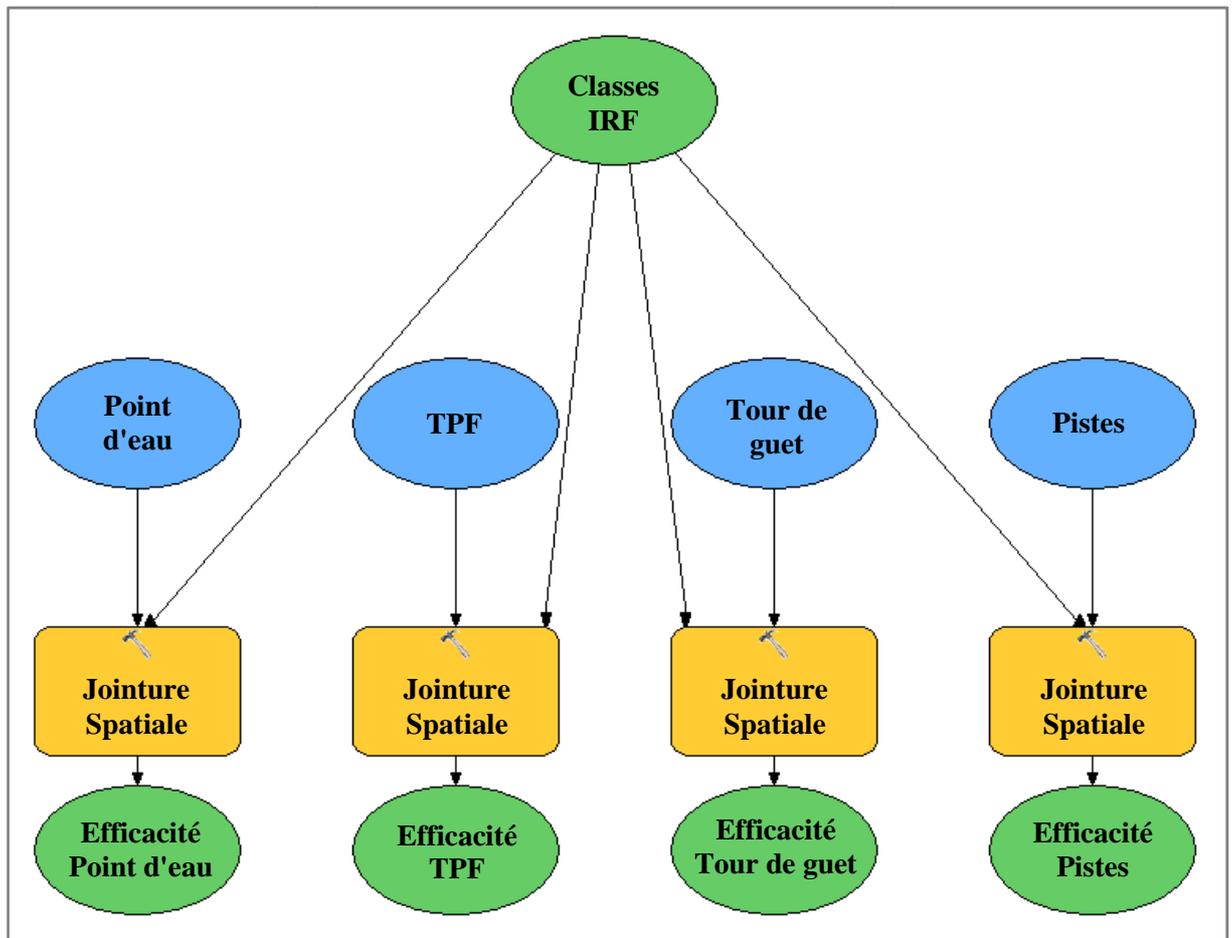


Figure 56. Modèle d'analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feux de forêts.

# *Chapitre IV*

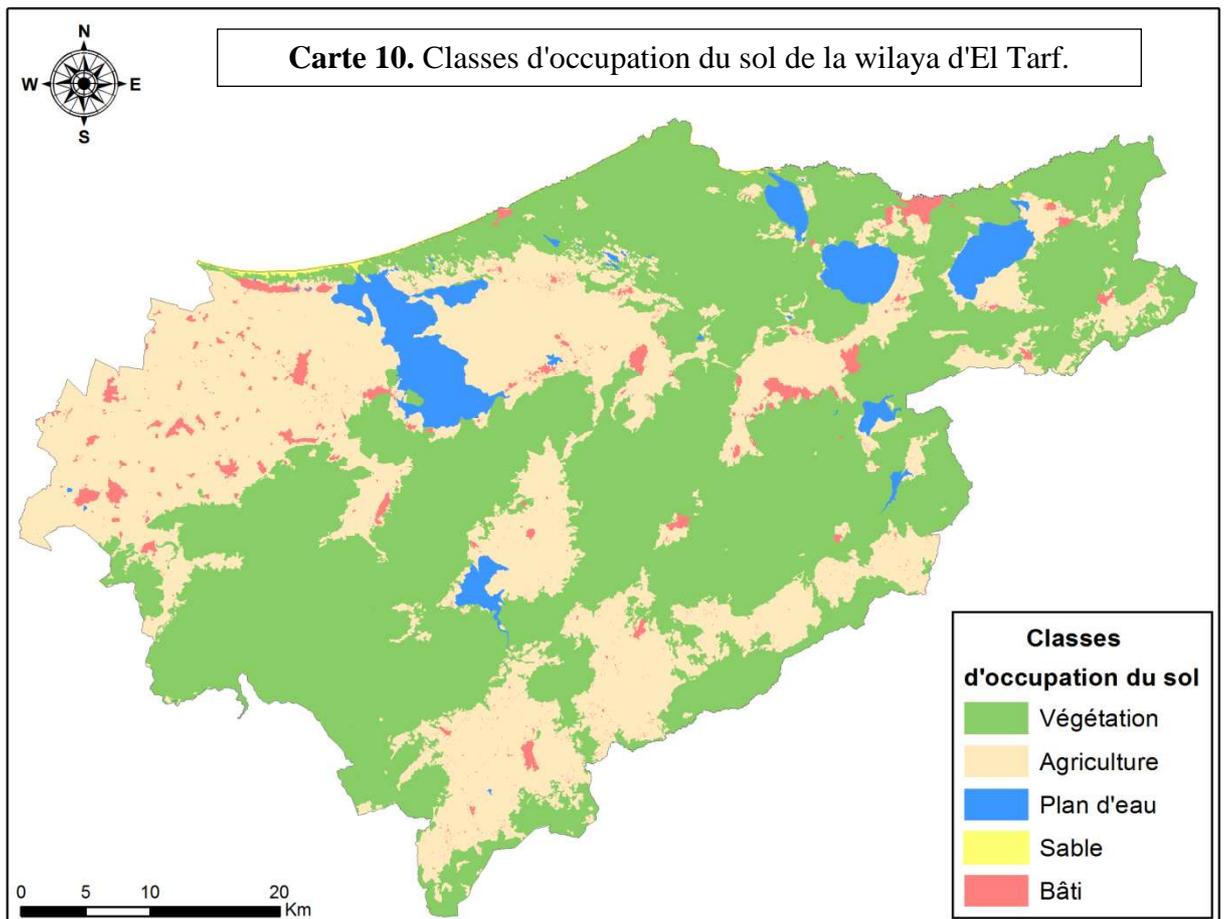
*Résultats et discussions*

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### IV.1. Inventaire spatial : Cartes descriptives de base

#### IV.1.1. Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf

Le territoire de la wilaya d'El Tarf regroupe 5 classes d'occupation du sol, à savoir : la végétation, l'agriculture, le sable, les plans d'eau et le bâti (Carte 10).



La végétation, composée essentiellement de forêts et de maquis, occupe une surface de 161.464 ha, soit 56,03%. L'agriculture avec 36,47% vient en seconde position comptabilisant une surface de 105.118 ha, elle comprend les terres de cultures, l'arboriculture et les pâturages. Les zones de sable correspondent au cordon dunaire littoral localisé dans la partie nord de la wilaya avec une surface de 427 ha, soit 0,15%. La wilaya est aussi caractérisée par une importante zone humide, notamment au sein du parc national d'El Kala. Ces plans d'eau,

qui englobent les lacs, les marais et les barrages, occupent une surface totale de 13.556 ha, soit 4,70%. Enfin, l'occupation du bâti correspond à 2,65% de la surface de la wilaya, soit 7.638 ha, dominé par l'habitat rural. En plus de 2 villes (El Kala et El Tarf) et 113 villages, on compte plus de 5.539 maisons rurales et 7.780 fermes éparses.

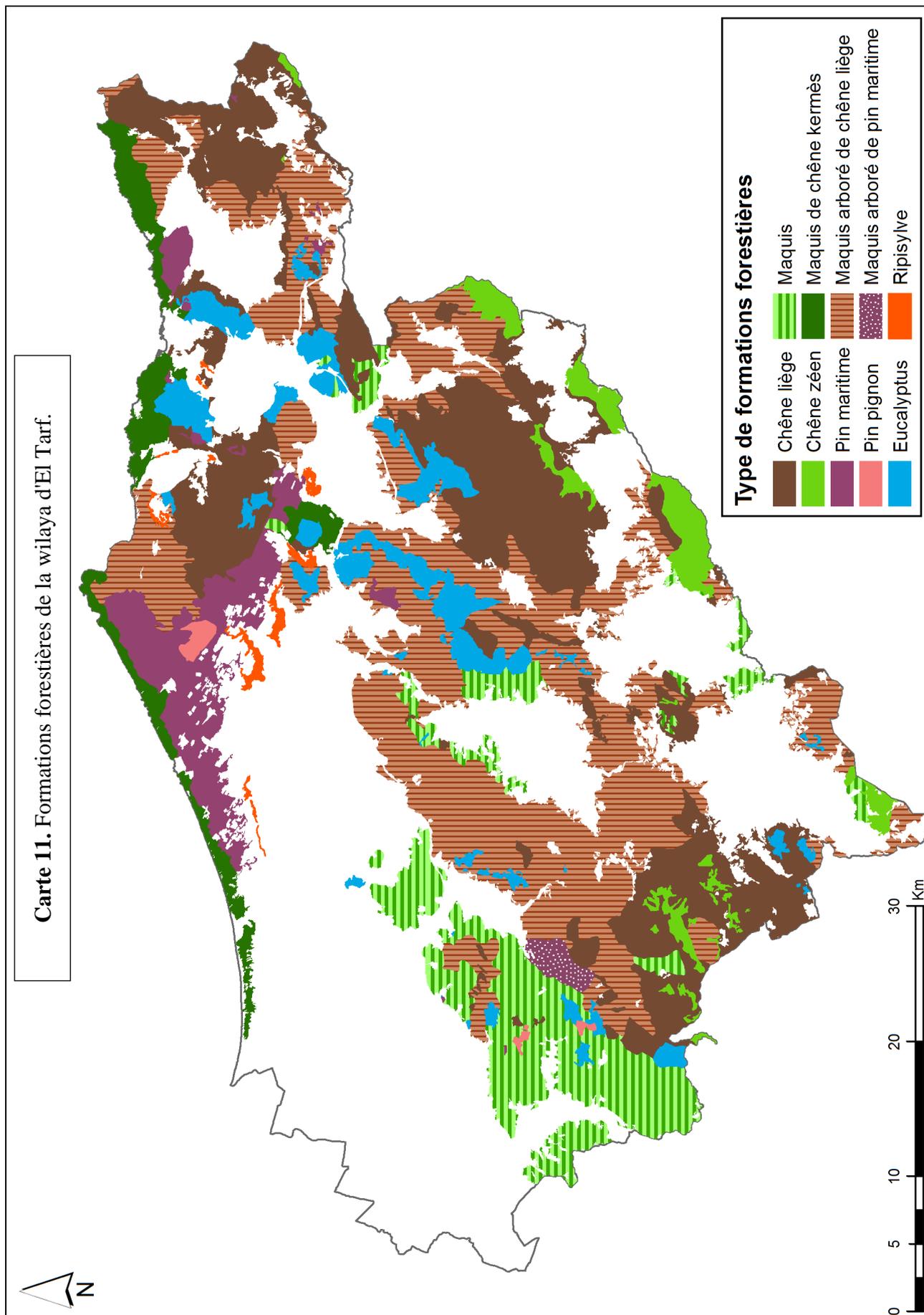
#### **IV.1.2. Carte des formations forestières de la wilaya d'El Tarf**

Au niveau de la wilaya d'El Tarf, les 161.464 ha de massifs forestiers sont composés de forêts (76.693 ha), de maquis (84.244 ha) et de vides et clairières (527 ha).

Le cordon dunaire situé au Nord est stabilisé par des peuplements de chêne kermès sous forme de maquis, de pin maritime et de pin pignon destinés à l'intensification ligneuse. Les ripisylves, localisées au niveau des zones humides, sont constituées de peupliers, d'aulne, d'orme et de frêne. La zone se trouvant au sud de la wilaya, de nature montagneuse, est occupée graduellement par du chêne liège et chêne zéen, alternant avec des vides forestiers et de grandes enclaves ou clairières, favorables à un développement rural intégré (agro-sylvo-pastoral). La chênaie est généralement dominante, le chêne zéen couvre les reliefs à partir de 800 m d'altitude, le chêne liège et sa forme dégradée, le maquis arboré, partagent équitablement le reste (Carte 11). Les reboisements sont constitués de pins maritimes et d'eucalyptus. Les maquis très dégradés, essentiellement par le passage répété des feux, sont composés par plusieurs espèces, dont les plus importantes sont : *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Erica arborea*, *Calycotum spinosa*, *Cistus salviifolius*, *Myrtus communis* et *Olea europaea*.

Le tableau 16 détaille la composition en espèces, par ordre de dominance, des différents types de formations forestières (forêt pure ou mélangée, maquis arboré ou non) et les surfaces correspondantes.

Parmi la flore forestière de la wilaya d'El Tarf, quatre essences (chêne liège, chêne zéen, pin maritime et eucalyptus) retiennent particulièrement l'attention, parce qu'elles constituent des peuplements homogènes le plus souvent à l'état pur ou mélangé, occupant de vastes étendues. Les forêts autant que leur sous bois procurent des sous produits à des activités traditionnelles, notamment la fabrication de charbon de bois, la récolte de liège, de la bruyère, des huiles oléastres et du miel.



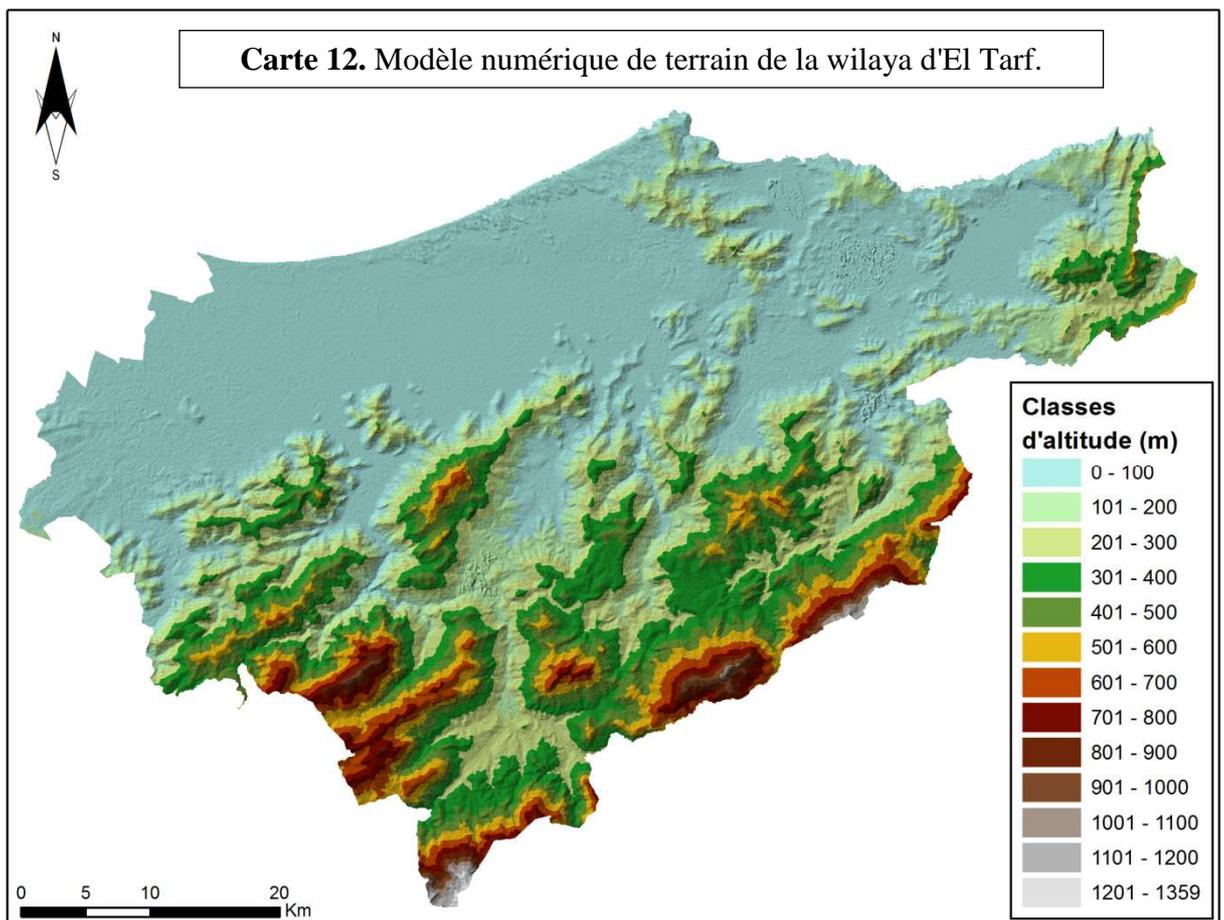
**Tableau 16.** Type de formations forestières de la wilaya d'El Tarf.

Type de formation	Espèces dominantes			Surface (ha)
	Espèce 1	Espèce 2	Espèce 3	
Forêt pure de chêne liège	Chêne liège	/	/	45.175
Forêt mélangée de chêne liège	Chêne liège	Pin maritime	/	465
Forêt pure de chêne zéen	Chêne zéen	/	/	5.853
Forêt mélangée de chêne zéen	Chêne zéen	Chêne liège	/	711
Forêt pure de pin maritime	Pin maritime	/	/	11.006
Forêt mélangée de pin maritime	Pin maritime	Pin pignon	/	569
Forêt pure de pin pignon	Pin pignon	/	/	113
Forêt pure d'eucalyptus	Eucalyptus	/	/	9.696
Forêt mélangée d'eucalyptus	Eucalyptus	Acacia	/	2.097
Ripisylve	Aulne + Orme + Peuplier + Frêne			1.007
Maquis arboré de chêne liège	Bruyère	Filaire	Lentisque	9.843
Maquis arboré de chêne liège	Chêne kermès	Lentisque	Filaire	2.042
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Bruyère	Filaire	1.675
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Olivier	Filaire	617
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Filaire	Bruyère	867
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Filaire	Calicotome	2.419
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Filaire	Myrte	15
Maquis arboré de chêne liège	Lentisque	Filaire	Olivier	4.049
Maquis arboré de chêne liège	Olivier	Filaire	Lentisque	4.204
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Bruyère	Ciste	1.749
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Bruyère	Chêne kermès	1.636
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Bruyère	Lentisque	16.418
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Bruyère	Myrte	1.653
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Lentisque	Bruyère	2.661
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Lentisque	Calicotome	1.199
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Lentisque	Ciste	3.343
Maquis arboré de chêne liège	Filaire	Lentisque	Olivier	1.819
Maquis arboré de pin maritime	Filaire	Lentisque	Bruyère	1.085
Maquis	Chêne kermès	Genévrier oxycèdre	Genévrier de Phénicie	2.608
Maquis	Chêne kermès	Genévrier oxycèdre	Filaire	1.717
Maquis	Chêne kermès	Genévrier oxycèdre	Rétam	1.982
Maquis	Chêne kermès	Lentisque	Filaire	814
Maquis	Calicotome	Lentisque	/	520
Maquis	Lentisque	Ciste	Calicotome	1.400
Maquis	Lentisque	Calicotome	Myrte	1.960
Maquis	Lentisque	Myrte	Bruyère	197
Maquis	Lentisque	Filaire	Ciste	11.552
Maquis	Lentisque	Filaire	Olivier	573
Maquis	Olivier	Lentisque	Filaire	100
Maquis	Filaire	Calicotome	Lentisque	904
Maquis	Filaire	Lentisque	Calicotome	1.115
Maquis	Filaire	Lentisque	Ciste	1.050
Maquis	Filaire	Olivier	Calicotome	292
Olivier pur	Olivier	/	/	167
<b>Total</b>				<b>160.937</b>

### IV.1.3. Modèle numérique de terrain de la wilaya d'El Tarf

Le modèle numérique de terrain (MNT) de la wilaya d'El Tarf a été construit à partir du modèle numérique d'élévation GDEM (Global Digital Elévation Model) du satellite ASTER (Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer). Les images raster du GDEM sont disponibles gratuitement avec une résolution spatiale de 30 m.

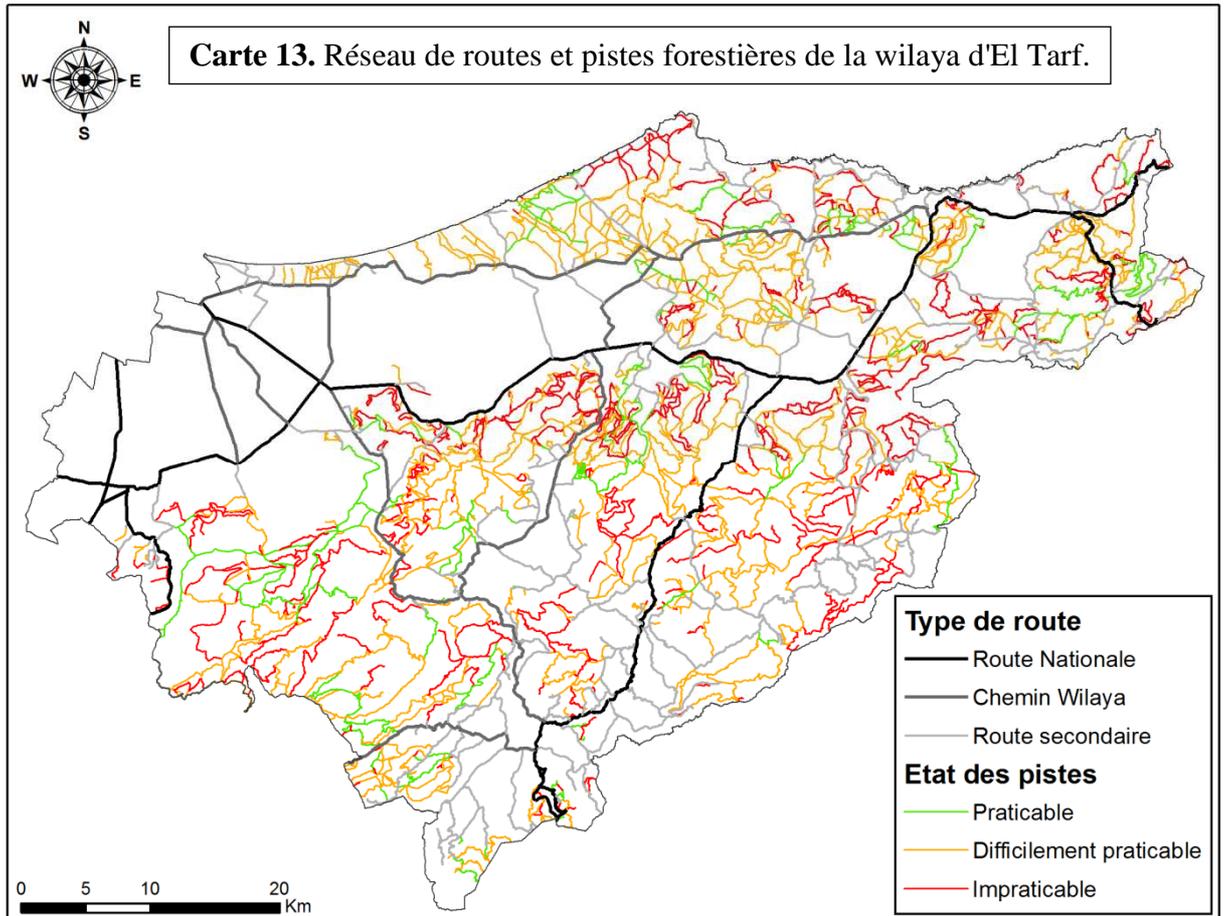
Le format TIN (Triangulated Irregular Network) a été choisi pour afficher le modèle numérique de terrain. L'activation de l'éclairage des ombres, permet une meilleure visualisation et interprétation du relief (Carte 12).



Les valeurs d'altitude, au niveau de la wilaya d'El Tarf, sont comprises entre 0 et 1.359 m, avec une altitude moyenne de 199 m.

#### IV.1.4. Réseau de routes et pistes forestières de la wilaya d'El Tarf

La wilaya d'El Tarf dispose d'un réseau routier d'une longueur totale de 1.090 km, dont 323 km traversant les massifs forestiers (Carte 13). Il est composé de routes nationales (220 km), de chemins wilayas (194 km) et de routes secondaires (676 km).

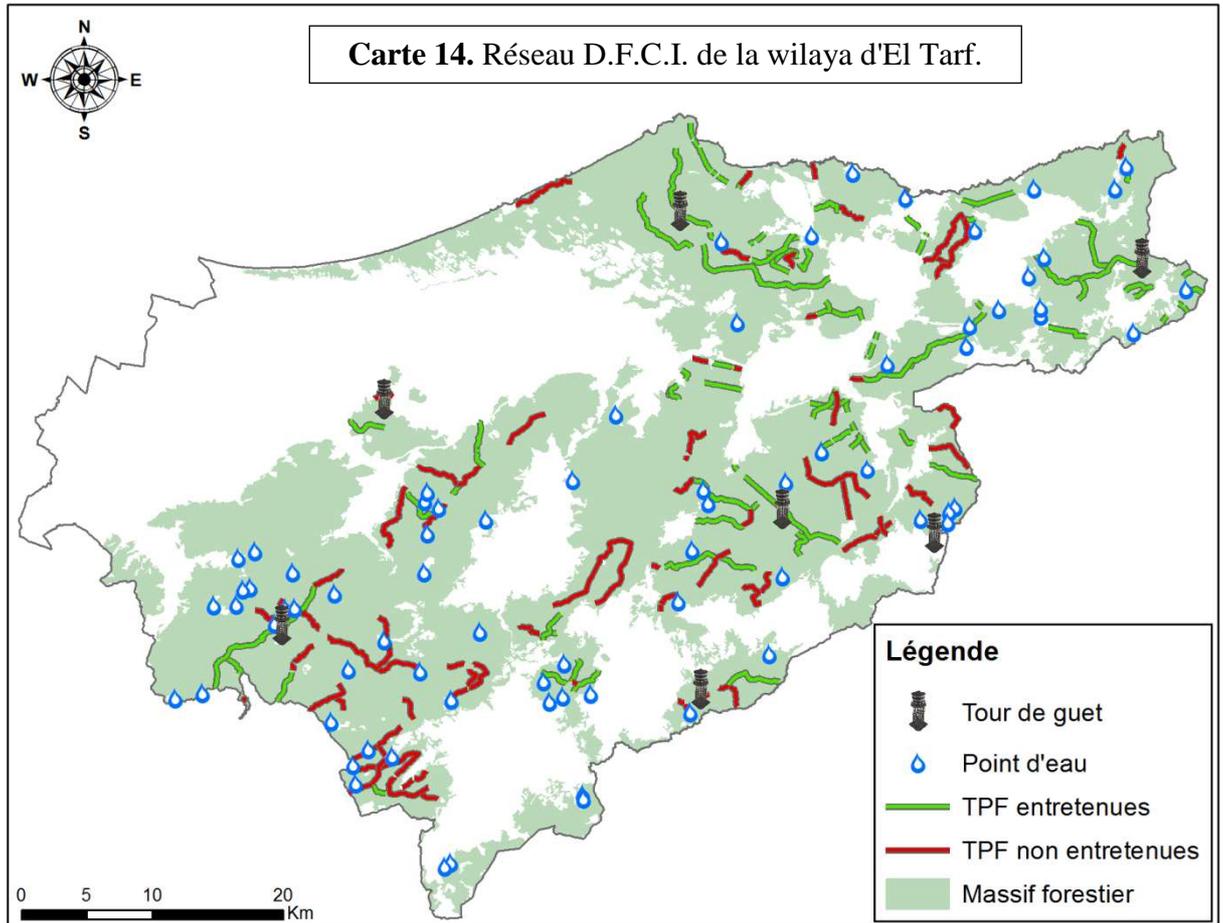


L'accessibilité de la forêt est vitale en matière de lutte contre les incendies. En effet, une intervention rapide en cas de déclaration d'un sinistre permettra de limiter les dégâts occasionnés, les normes sont de 1 km de piste pour 100 ha de forêt. La longueur totale des pistes forestières est de 2.767 km, soit une longueur moyenne de 1,71 km/100 ha de forêt. Cependant, toutes les pistes ne sont pas en bon état, certaines sont difficilement praticables, voir même impraticables :

- pistes praticables : 401 km (14%) ;
- pistes difficilement praticables : 1.408 km (51%) ;
- pistes impraticables : 958 km (35%).

#### IV.1.5. Réseau D.F.C.I. (Défense des Forêts Contre les Incendies) de la wilaya d'El Tarf

Le réseau de défense des forêts contre les incendies de la wilaya d'El Tarf est constitué de tranchée pare-feu, de point d'eau et de tour de guet (Carte 14).



Les normes établies pour la forêt algérienne, en ce qui concerne les tranchées pare-feu, sont de 2,5 ha de T.P.F. pour 100 ha de forêt. Le volume total des tranchées pare-feu, pour la wilaya d'El Tarf, est de 1.791,35 ha, soit une moyenne de 1,11 ha de T.P.F. pour 100 ha. Ce volume reste donc insuffisant, d'autant plus que 45,68% des tranchées pare-feu ne sont pas entretenues, ce qui les rend non seulement inefficaces face à la propagation du feu, mais également une source de départ de feu.

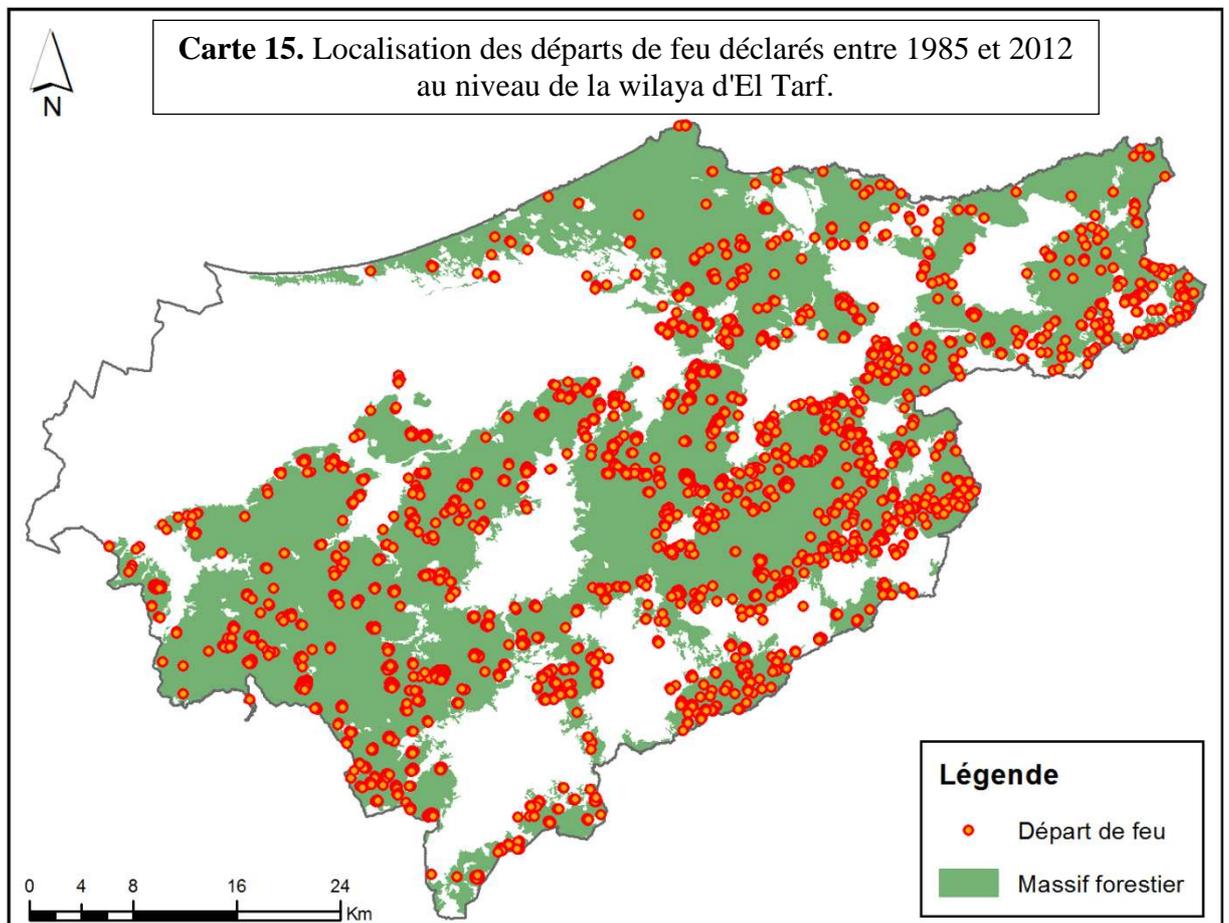
En matière de tour de guet les normes sont d'une tour pour 7.000 ha. Les forêts d'El Tarf en sont très faiblement dotées, avec seulement 7 tours de guet, soit une tour pour 23.066 ha, avec une hauteur qui varie entre 2 et 17 m. L'objectif est de détecter au plus tôt les départs de feux, de façon à pouvoir intervenir le plus rapidement possible sur les feux naissants, dans

un délai inférieur à 10 minutes. Cependant, les statistiques révèlent bien souvent, que ce sont les habitants eux-mêmes qui donnent l'alerte avant que les vigies ou les patrouilles ne les localisent.

Les normes requises en matière de points d'eau varient en fonction de la dimension de celui-ci, mais en moyenne nous considérons qu'il faut un point d'eau tous les 1.000 ha. L'ensemble des massifs forestiers d'El Tarf compte 73 points d'eau, soit un point d'eau pour 2.211 ha. Ils sont dotés d'une capacité de stockage qui varie entre 15 et 18 m<sup>3</sup>.

#### IV.1.6. Localisation des départs de feux déclarés au niveau des forêts de la wilaya d'El Tarf entre 1985 et 2012

Durant la période 1985-2012, 3.259 départs de feux ont été enregistrés au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf. La localisation spatiale de tous les départs de feux (Carte 15) permet d'effectuer toutes les analyses spatiotemporelles relatives aux feux de forêts.



## IV.2. Analyse spatiale : Cartes synthétiques et typologiques

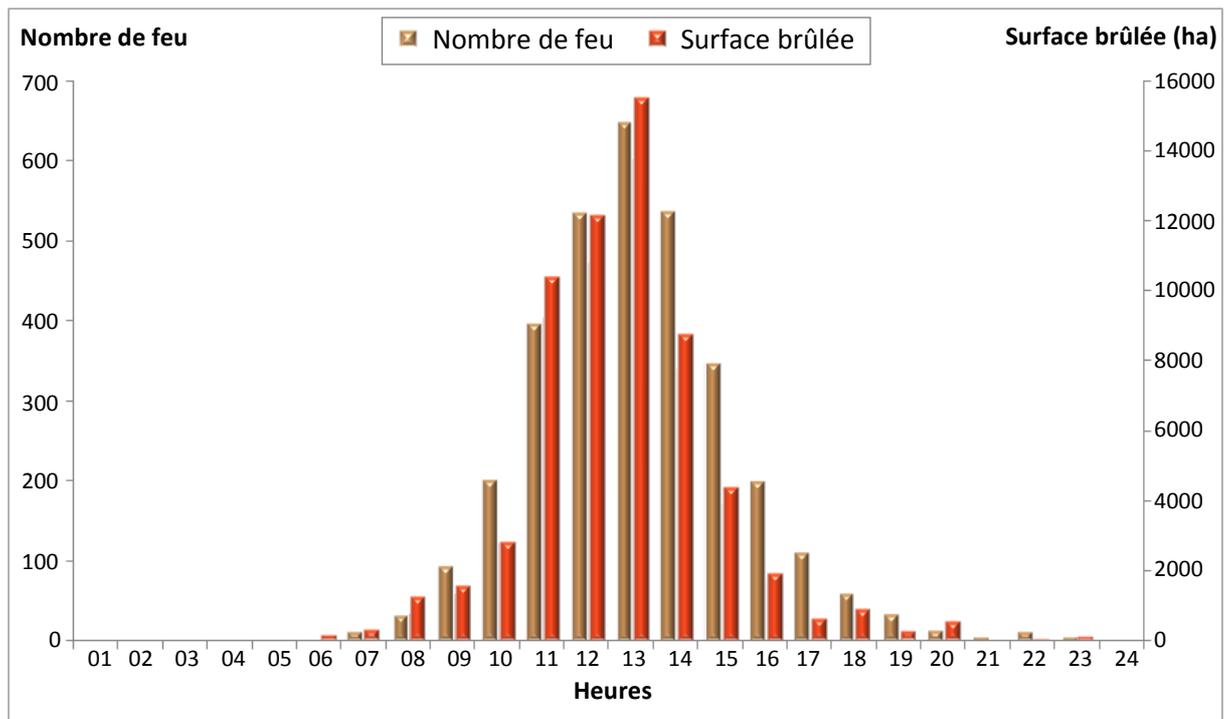
### IV.2.1. Analyse temporelle des feux de forêts pour la période 1985-2012

Le bilan des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf, entre 1985 et 2012, fait état de 3.259 départs de feux ayant parcouru une surface totale de 61.670,82 ha, soit une moyenne de 18,92 ha/feu.

#### IV.2.1.1. Fréquence horaire des feux de forêts

La fréquence horaire des feux de forêts, évolue suivant une courbe en forme de cloche (Figure 57). 2.667 départs de feux (82%) se sont déclenchés durant la tranche horaire comprise entre 11h et 16h. Le pic est enregistré entre 12h et 14h avec 1.721 départs de feux (53%). La surface brûlée des départs de feux est aussi plus importante durant ces mêmes tranches horaires. Elle est de 53.097 ha (86%) entre 11h et 16h, et de 36.398 ha (59%) entre 12h et 14h.

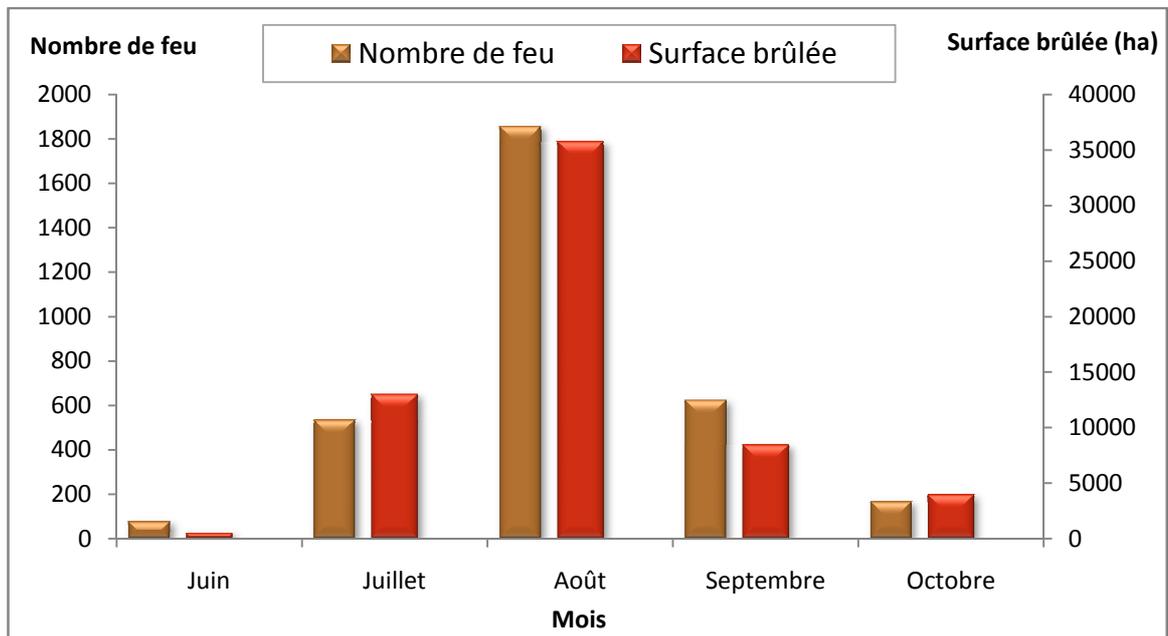
Durant le cycle journalier, ces tranches horaires enregistrent, généralement, les valeurs maximales de température et le plus faible taux d'humidité de l'air. Ces conditions climatiques favorisent l'éclosion et la propagation du feu.



**Figure 57.** Fréquence horaire des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012).

#### IV.2.1.2. Fréquence mensuelle des feux de forêts

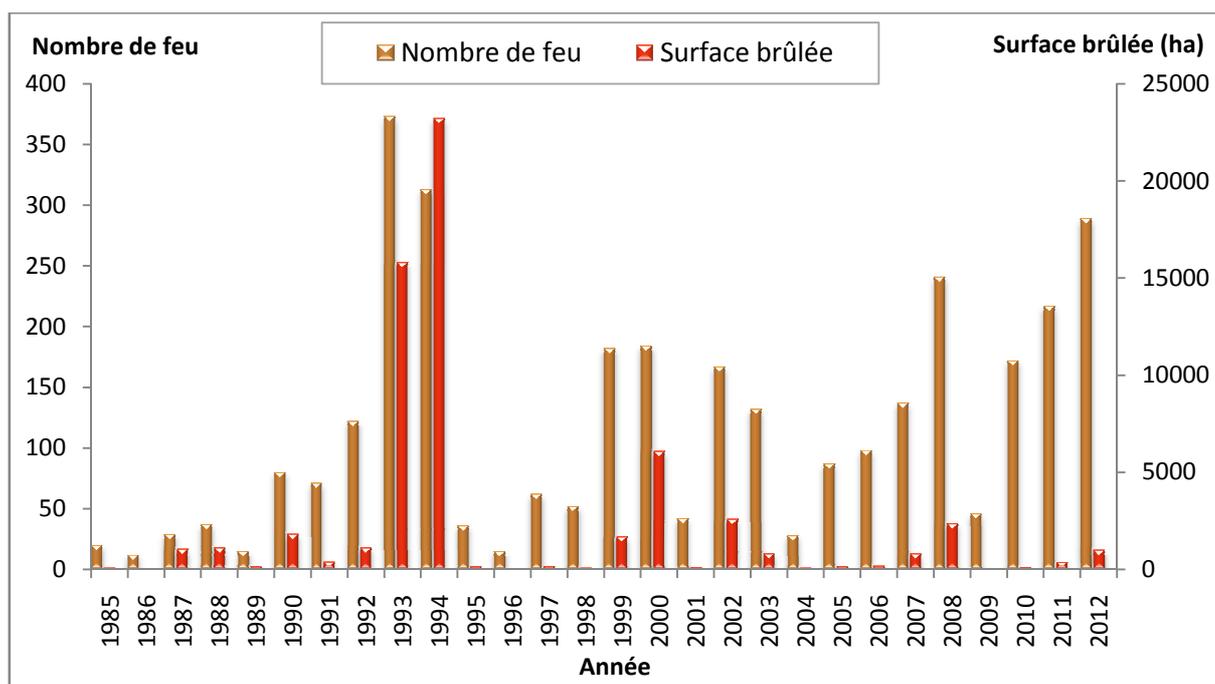
La fréquence mensuelle des feux au cours des 28 années (1985-2012) évolue durant une période de 5 mois, de juin à octobre (Figure 58). Cette période coïncide avec la saison sèche favorisant ainsi le développement des feux de forêts. C'est durant le mois le plus chaud et le plus sec de l'année (août) que l'on enregistre le plus grand nombre de foyers avec 1.856 départs de feux, soit 57%. Même constatation concernant la superficie brûlée qui est de 35.751,61 ha, soit 58%.



**Figure 58.** Fréquence mensuelle des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012).

#### IV.2.1.3. Fréquence annuelle des feux de forêts

Entre 1985 et 2012, la moyenne annuelle du nombre de feux est de 116,39 feu/an et celle des surfaces brûlées est de 2.202,52 ha/an. Cependant, la surface brûlée fluctue d'une année à une autre. Durant les années 1993, 1994, 2000, 2002 et 2008 la surface brûlée est supérieure à cette moyenne. Ce sont les années 1993 et 1994 qui ont été les plus destructrices pour les forêts d'El Tarf, où pas moins de 39.028 ha ont brûlé (63,28%), soit les deux tiers de la surface totale brûlée durant les trois décennies (Figure 59).



**Figure 59.** Fréquence annuelle des feux de forêts de la wilaya d'El Tarf (1985-2012).

La cause de ces feux exceptionnels, durant ces deux années, est liée à la conjoncture sécuritaire difficile qu'a connue l'Algérie entre 1990 et 2000. Durant cette décennie noire, l'état algérien a mené une lutte armée contre les groupes terroristes qui s'était réfugié dans les zones montagneuses difficile d'accès et recouvertes par des maquis et des forêts très dense.

Pour une analyse plus précise des feux de forêts récurrents liés à la pression anthropique, il faut les distinguer des feux de forêts conjoncturels liés à la lutte contre le terrorisme. Certes, les feux conjoncturels ont une surface brûlée plus importante mais leur effets sont limités dans le temps et l'espace, en comparaison avec les feux récurrents qui sont beaucoup plus fréquents avec un impact important sur la capacité de régénération des forêts. Il est donc important d'identifier et d'exclure les feux conjoncturels avant l'analyse spatiale. Pour l'identification des feux conjoncturels, nous avons pris en compte 2 critères objectifs :

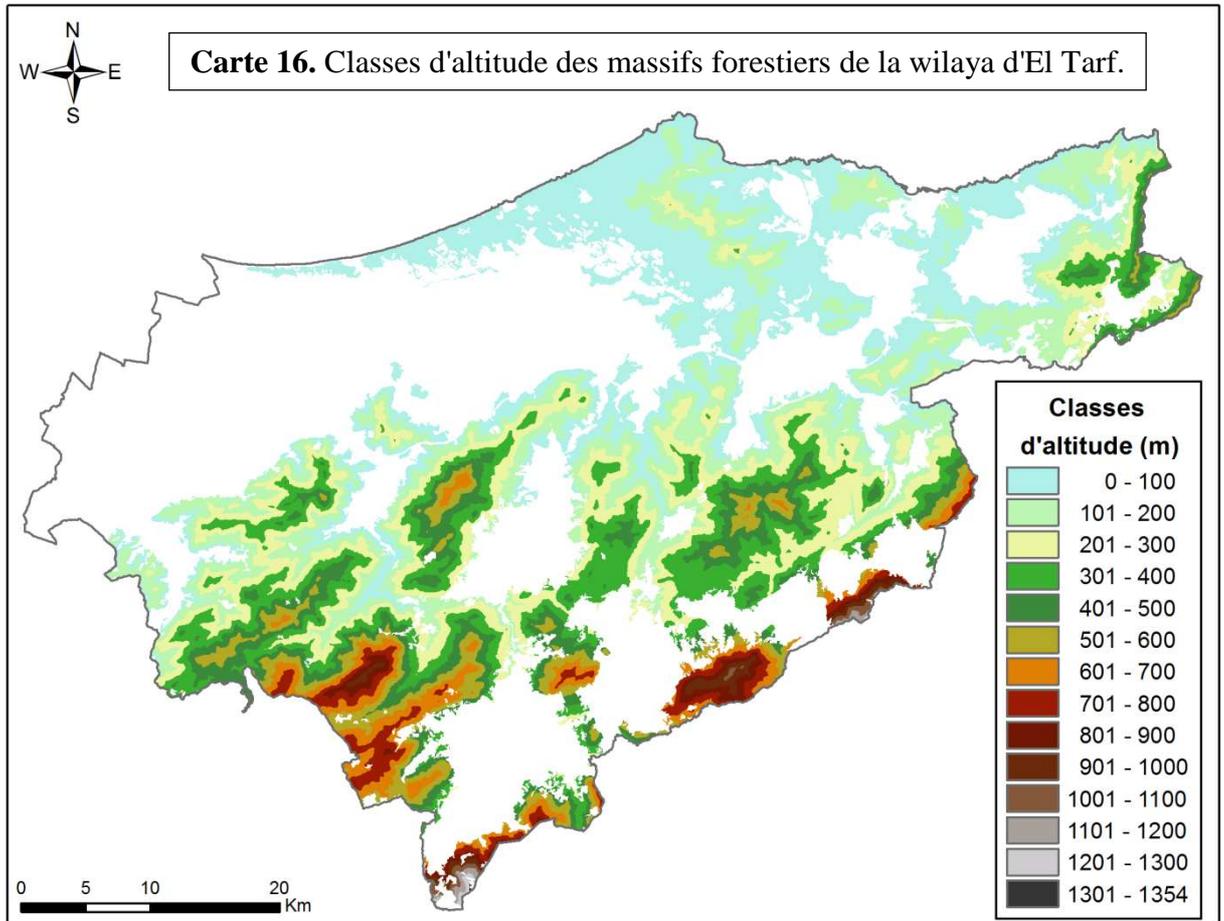
- la date des feux (deux années retenue 1993 et 1994) ;
- la taille des feux (les grands feu, surface brûlée  $\geq 1000$  ha) ;

Le nombre total des feux ayant parcourus une surface supérieure ou égale à 1000 ha durant les années 93/94 est de 10. Ces feux ne représentent que 0,3% du nombre total des feux, mais en termes de surface brûlée, ils représentent 30% (18.475 ha). Après déduction du nombre de feux conjoncturels, le nombre total des départs de feux restant est de 3.249 avec une surface totale brûlée de 43.195,82 ha.

## IV.2.2. Étude topographique des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

### IV.2.2.1. Classes d'altitude des massifs forestiers

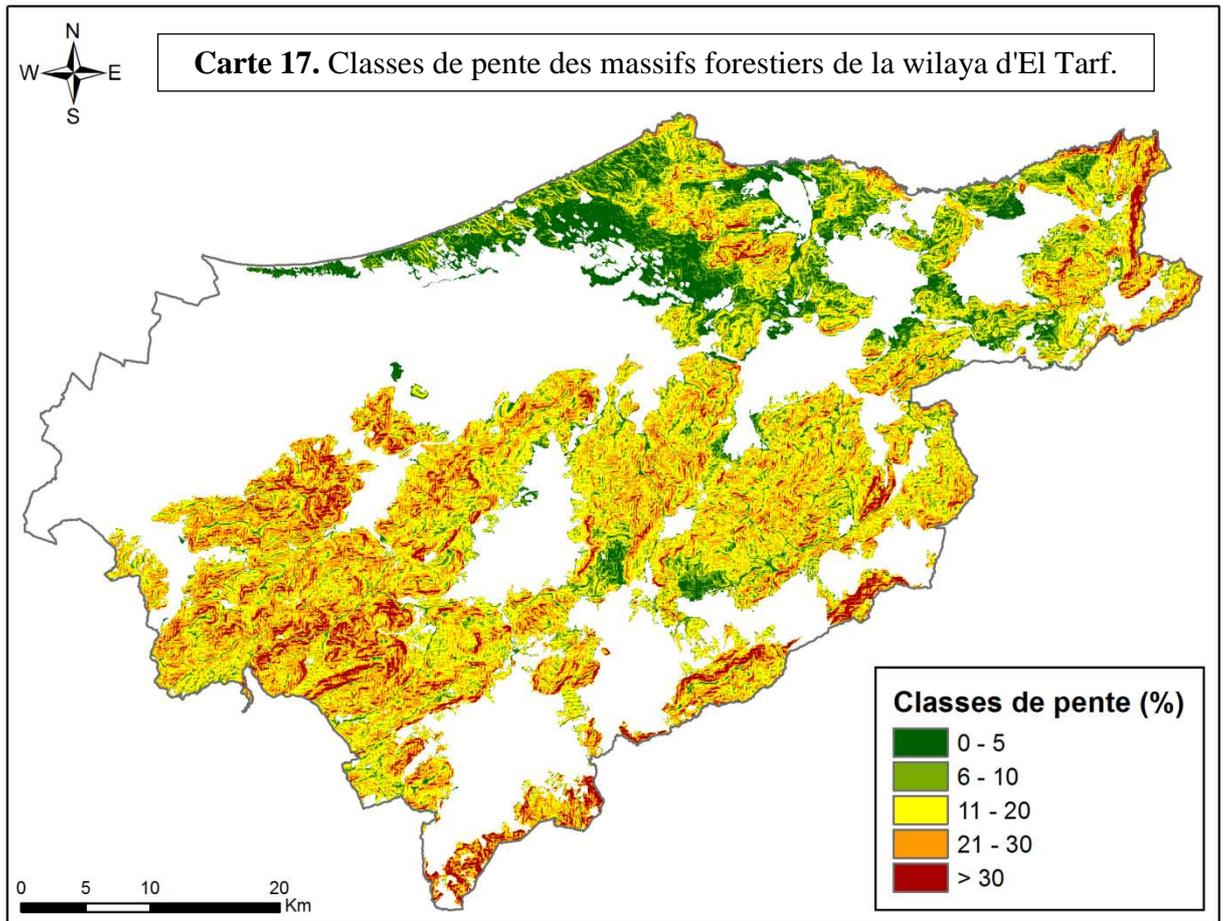
Les valeurs d'altitude, au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, sont comprises entre 0 et 1.354 m, avec une altitude moyenne de 262 m (Carte 16).



La majorité des massifs forestiers sont localisés à basse altitude, 63,4% ont une altitude inférieure à 300 m, dont 26,8% sont à moins de 100 m. 34,3% des massifs forestiers sont situés à une altitude comprise entre 300 et 800 m, mais au-delà de 800 m, ils ne sont plus que 2,3%.

### IV.2.2.2. Classes de pente des massifs forestiers

Les valeurs de pente des massifs forestiers sont comprises entre 0 et 365% (0 et 74°), avec une pente moyenne de 15,5% (Carte 17).

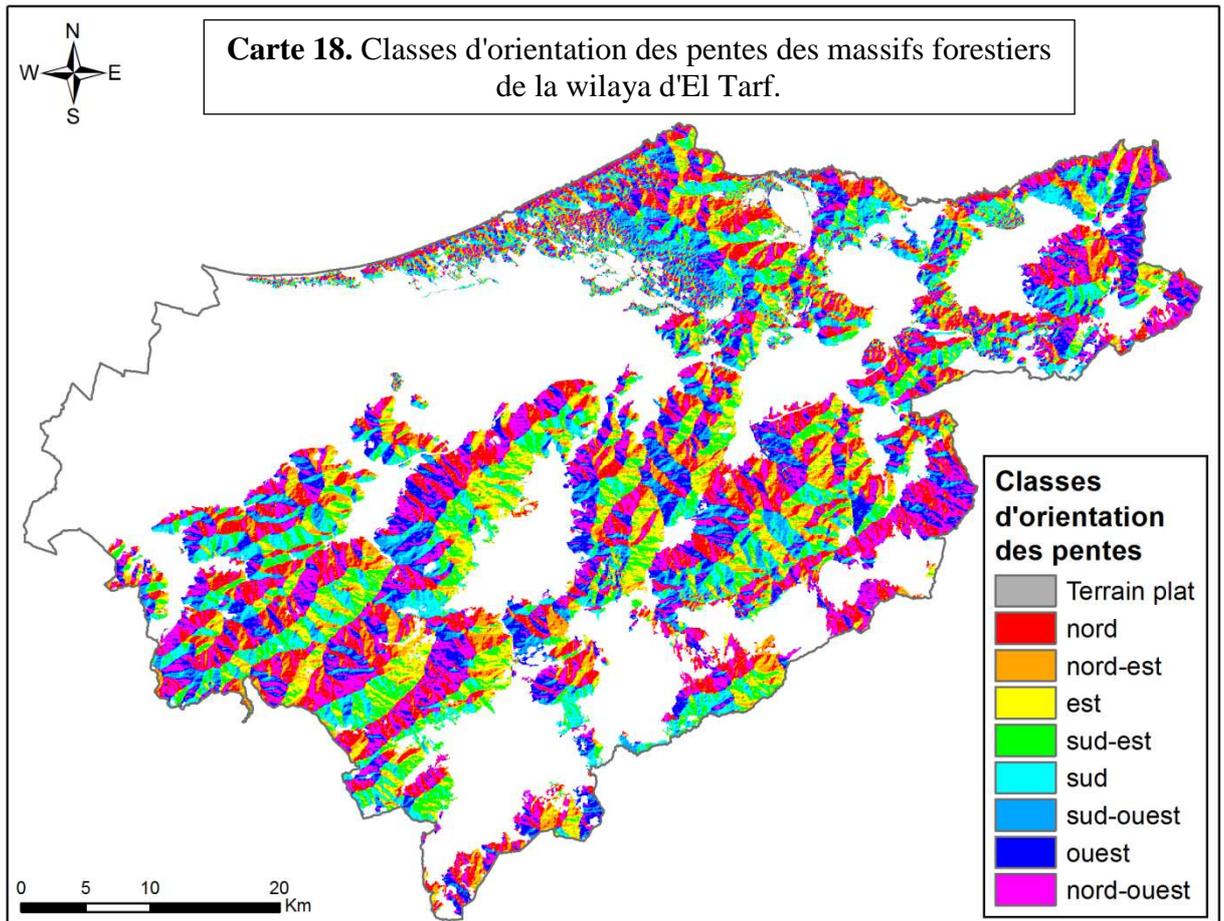


La quasi-totalité des massifs forestiers sont situés sur des terrains en pente, seul 0,61% sont localisés sur des terrains plats. Les classes de pente moyenne, comprises entre 10 et 25%, sont les plus dominantes, elles concernent 70,94% des massifs forestier, tandis que les pentes supérieures à 30% ne représentent que 8,66%.

#### IV.2.2.3. Classes d'orientation des pentes des massifs forestiers

Au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, les orientations dominantes sont le nord et le nord-ouest, avec respectivement 15,11% et 17,9% (Carte 18).

Avec respectivement 9,84% et 9,28%, les orientations nord-est et sud-ouest sont les moins représentées. Le reste des orientations des pentes représente entre 10,85 et 12,63%, des massifs forestiers.

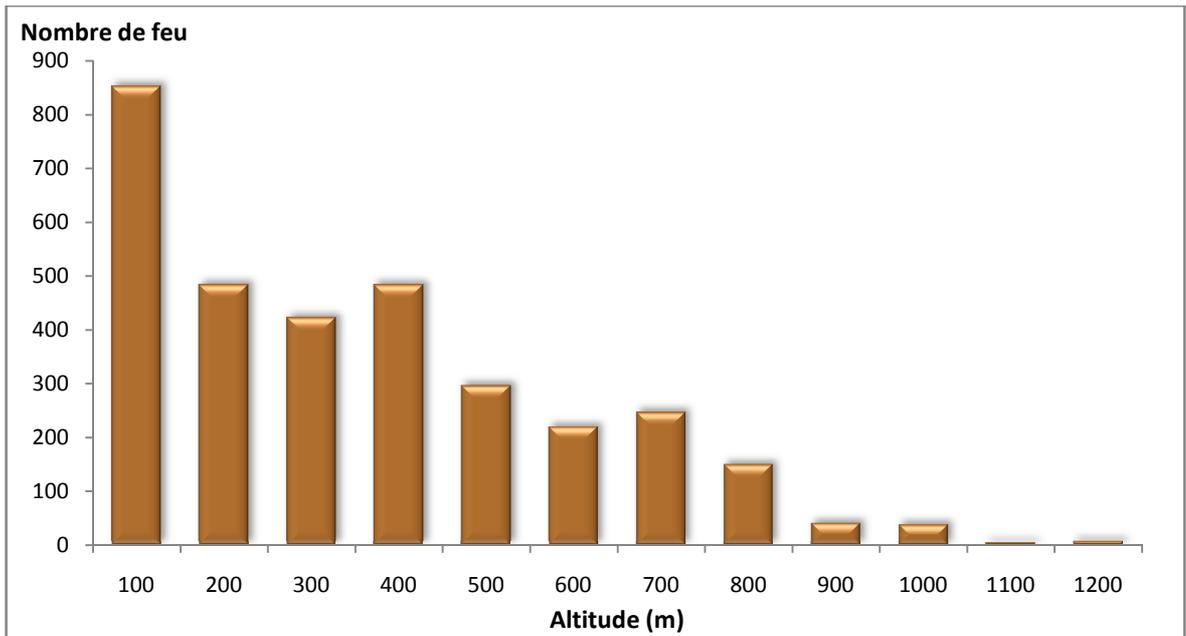


### IV.2.3. Analyse topographique des feux de forêts entre 1985 et 2012

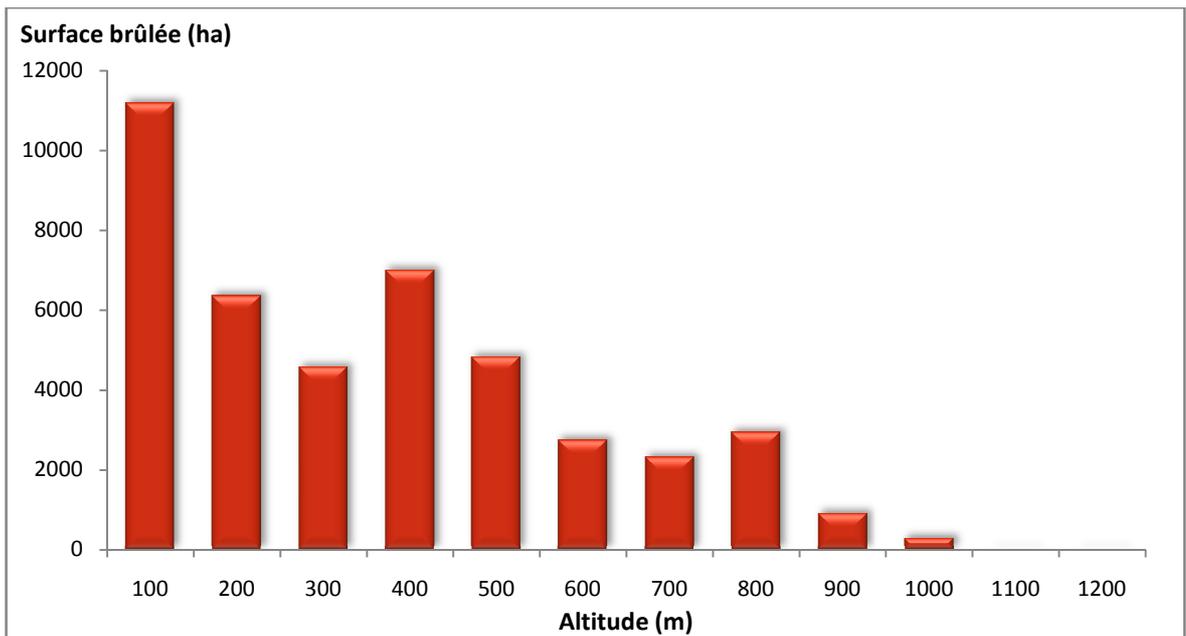
#### IV.2.3.1. Classes d'altitude des feux de forêts

Les valeurs d'altitudes des départs de feux, enregistrés dans les massifs forestiers d'El Tarf entre 1985 et 2012, varient entre 0 et 1200 mètres (Figure 60). On note que le nombre de feux diminue fortement avec l'altitude : 853 départs de feux, soit 26%, sont localisés à moins de 100 m et 78% à moins de 500 m.

Le même constat est fait concernant la répartition des surfaces brûlées en fonction de l'altitude (Figure 61). 11.193 ha, soit 26% des surfaces brûlées concernent les massifs forestiers localisés à moins de 100 m d'altitude et ce chiffre passe à 78% pour ceux à moins de 500 m.



**Figure 60** : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de l'altitude.



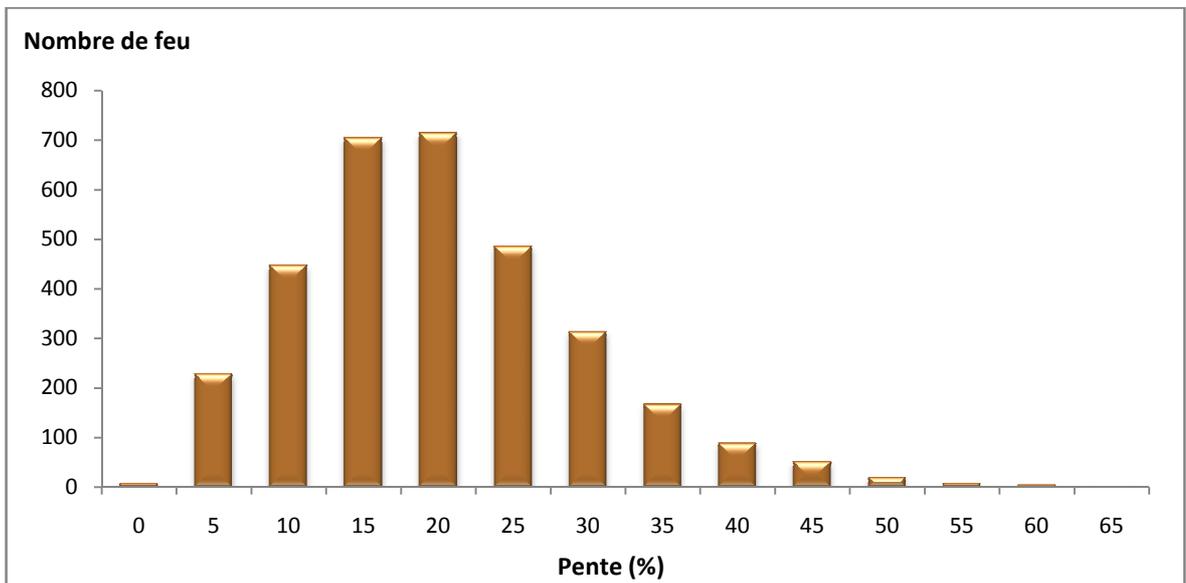
**Figure 61** : Répartition des surfaces brûlées en fonction de l'altitude.

Ceci montre que les zones de faible altitude sont plus touchées par les feux de forêts que les régions montagnardes. Cela est dû d'une part, à l'importance des surfaces forestières à faible altitude (86,2% ont une altitude inférieure à 500 m), et d'autre part à l'action anthropique exercée par la population, plus particulièrement les activités agricoles et pastorales, répandue en basse altitude.

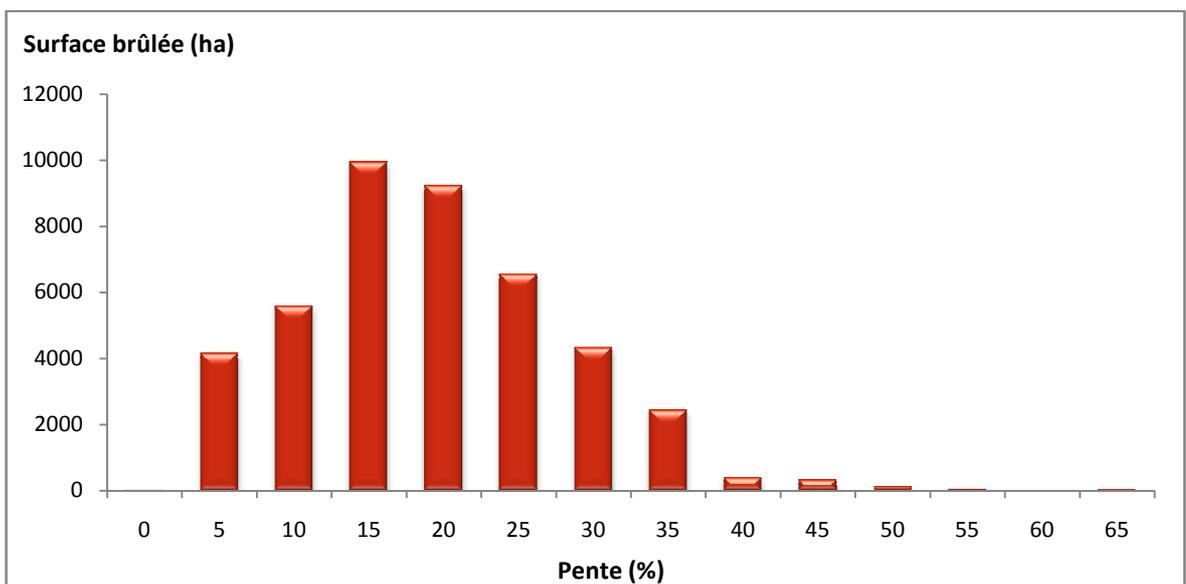
### IV.2.3.2. Classes de pente des feux de forêts

La pente joue également un rôle dans la distribution des départs de feux, elle varie entre 0 et 65%, mais 72% des départs de feux sont localisés sur des pentes comprises entre 10 et 25% (Figure 62). Ceci est aussi valable pour les surfaces brûlées, car 73% des massifs touchés par le feu sont localisés sur des pentes comprises entre 10 et 25% (Figure 63).

Ces classes de pentes, qui sont dominantes, correspondent aux collines et piedmonts qui constituent des zones d'interfaces forêt-agriculture et forêt-habitat rural.



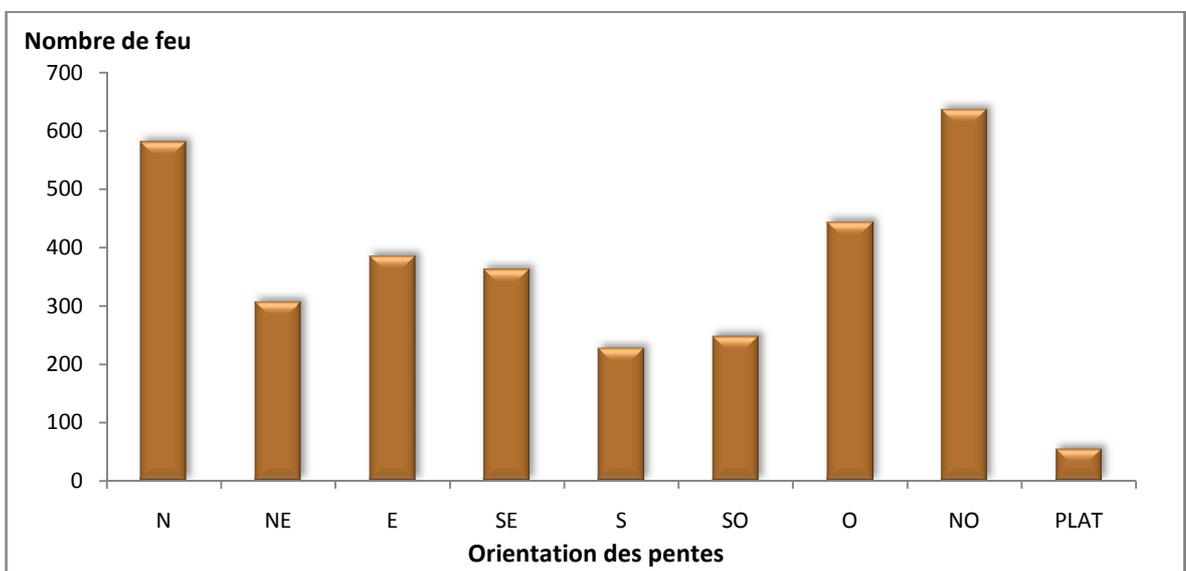
**Figure 62** : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de la pente.



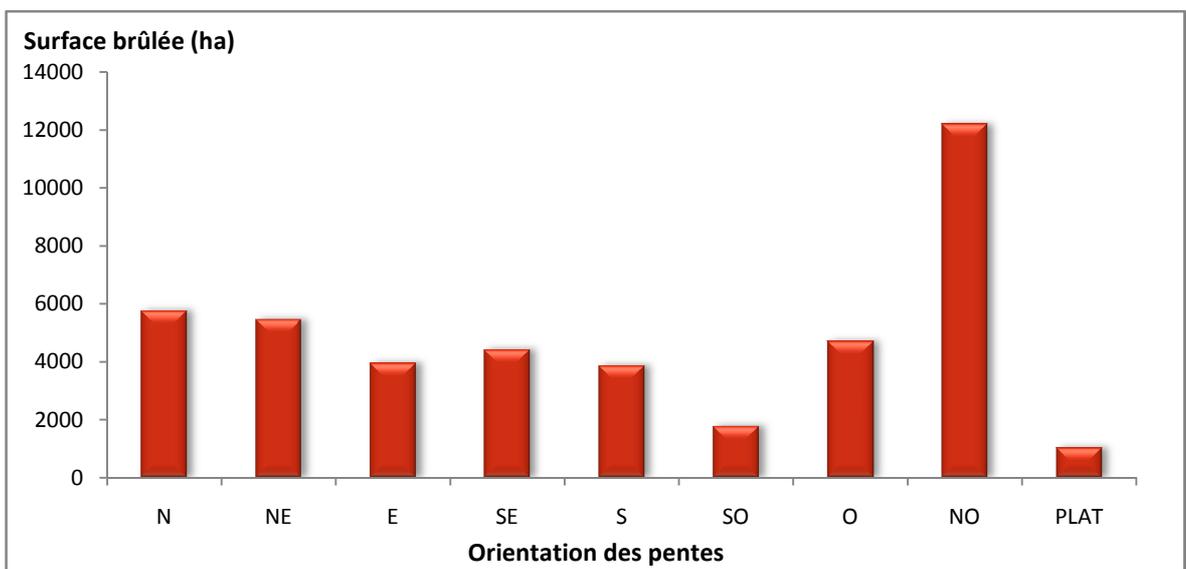
**Figure 63** : Répartition des surfaces brûlées en fonction de la pente.

### IV.2.3.3. Classes d'orientation des pentes des feux de forêts

Les orientations dominantes nord et nord-ouest enregistrent le plus grand nombre de départ de feu avec 37%, alors que les orientations sud et sud-ouest n'enregistrent que 14% (Figure 64). La plus grande surface brûlée concerne l'exposition nord-ouest avec 28%, suivie par le nord et le nord-est avec respectivement 13% et 12%. L'orientation sud-ouest reste la moins touchée par les feux de forêts au niveau des massifs de la wilaya d'El Tarf (Figure 65). Les feux sont donc plus nombreux, avec une surface brûlée plus importante, au niveau des versants nord humides et frais que sur les versants sud secs et chauds.



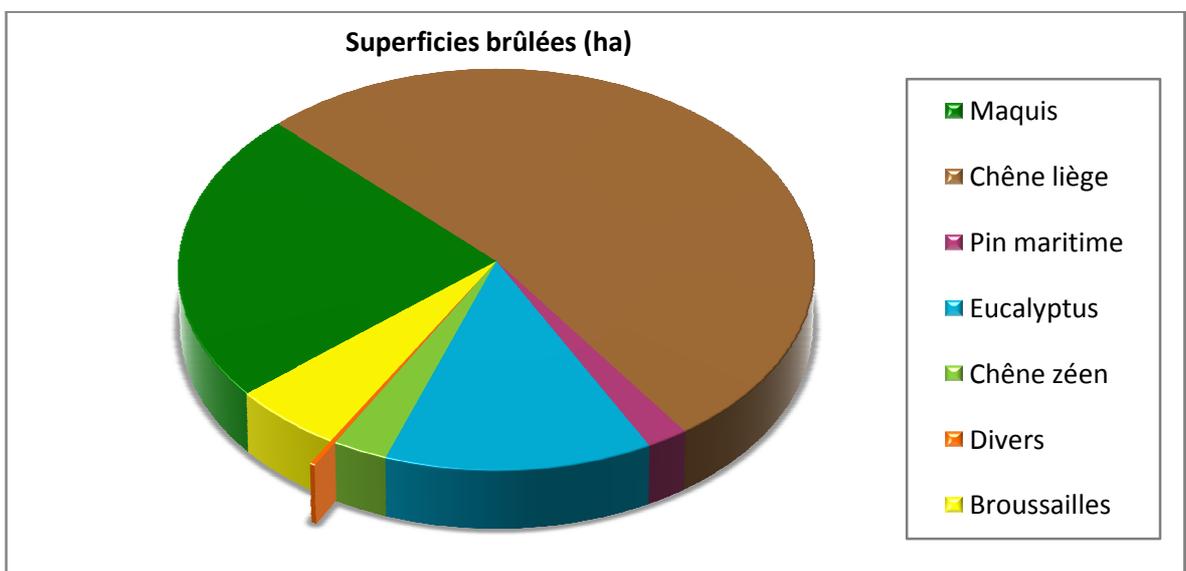
**Figure 64** : Répartition du nombre de feux de forêts en fonction de l'orientation des pentes.



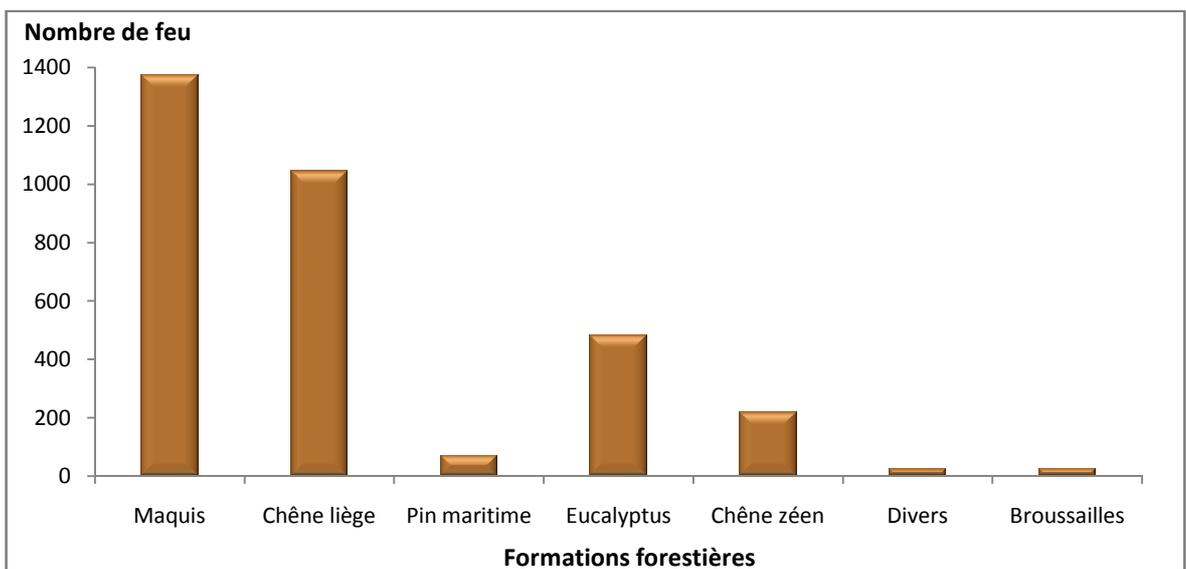
**Figure 65** : Répartition des surfaces brûlées en fonction de l'orientation des pentes.

#### IV.2.4. Analyse des feux de forêts en fonction des formations forestières

Ce sont les forêts de chêne liège qui payent le plus lourd tribut face aux feux de forêts (Figure 66). Le chêne liège, espèce dominante de cette wilaya, est de ce fait le plus touché par les feux de forêts avec près de 22.814 ha de subéraies brûlées, soit 53%. Le maquis avec 10.187 ha vient en seconde position. Les autres essences ne totalisent que 7.819 ha (18%) dont 5.665 ha pour l'eucalyptus, 1.161 ha pour le chêne zéen, 883 ha pour le pin maritime, et 110 ha pour diverses espèces secondaires (aulne, frêne, olivier, acacia, chêne kermès, orme et peuplier). Enfin, les broussailles enregistrent une surface brûlée de 2.375 ha.



**Figure 66 :** Répartition des surfaces brûlées par type de formations forestières.



**Figure 67 :** Répartition du nombre de feux par type de formations forestières.

La figure 67 montre que ce sont les maquis qui totalisent le plus grand nombre de départ de feu avec 1.376 feux (42%). Ils sont suivis par la formation de chêne liège (1.046 feux), d'eucalyptus (484 feux) et de chêne zéen (220 feux). Le reste des formations n'enregistrent que 3,8% des départs de feux.

**Tableau 17.** Comparaison entre la surface brûlée et le nombre de feux des formations forestières.

Type de formations	Surface brûlée (%)	Nombre de feux (%)
Maquis	23,6%	42,4%
Chêne liège	52,8%	32,2%
Pin maritime	02,0%	02,2%
Eucalyptus	13,1%	14,9%
Chêne zéen	02,7%	06,8%
Divers	00,3%	00,7%
Broussailles	05,5%	00,8%

Le tableau 17, qui permet la comparaison entre la surface brûlée et le nombre de feux des différents types de formations forestières, révèle que :

- l'eucalyptus, le pin maritime et les essences secondaires ont un pourcentage de surface brûlée presque équivalent à celui du nombre de feux ;
- le maquis et le chêne zéen affichent un pourcentage du nombre de feux 2 à 3 fois supérieur à celui de la surface brûlée ;
- le chêne liège et les broussailles enregistrent un pourcentage de surface brûlée plus important que celui du nombre de feux.

Le maquis reste la formation forestière qui subit le plus la pression anthropique, ce qui explique le nombre important de mise à feu. Cependant, les départs de feux issus des maquis se propagent le plus souvent vers la subéraie limitrophe, ce qui engendre d'importante surface brûlée au niveau de celle-ci.

En ce qui concerne le chêne zéen, la faible surface brûlée en rapport avec le nombre important de mise à feu est due aux conditions climatiques défavorables à la propagation des feux, notamment, des températures plus fraîches et une hygrométrie élevée qui caractérisent les aires de répartition de la zénaie couvrant, le plus souvent, les reliefs à partir de 800 m d'altitude.

Enfin, les broussailles, constituées essentiellement de plantes herbacées, subissent un assèchement important durant la saison estivale, favorisant ainsi la propagation rapide des feux. Ceci explique l'importance des surfaces brûlées malgré le nombre faible de mise à feu.

L'analyse détaillée des 1.376 départs de feux au niveau des formations de maquis révèle que les maquis arborés de chêne liège sont les plus touchés avec 80% du nombre de mise à feu, alors que seulement 20% concerne les maquis.

Les maquis arborés de chêne liège les plus touchés sont ceux à base de Filaire>Bruyère>Lentisque et Bruyère>Filaire>Lentisque, avec respectivement 30 et 23% du nombre de feux au niveau des maquis arborés.

Pour les maquis, les formations à base de Lentisque>Filaire>Ciste, Filaire>Calycotome>Lentisque et Lentisque>Ciste>Calycotome sont les plus touchées avec respectivement 27, 16 et 14% du nombre de mise à feu au niveau des maquis.

#### **IV.2.5. Étude météorologique des feux de forêts**

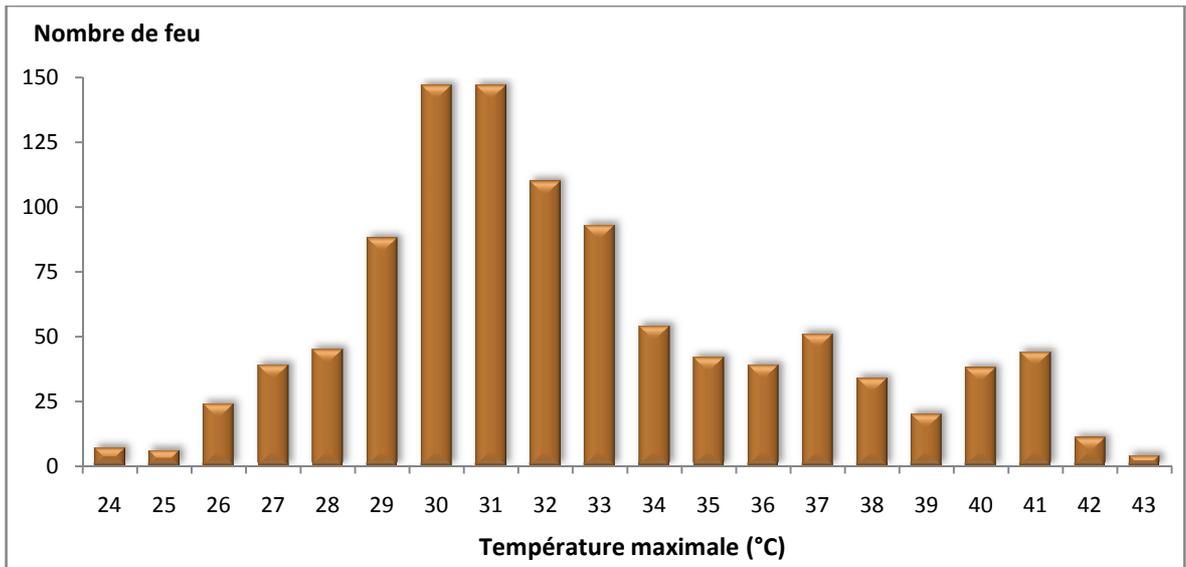
L'étude météorologique, permet d'apprécier l'influence et le degré d'impact des différents paramètres météorologiques (température, humidité de l'air et vitesse du vent) sur le nombre et la surface brûlée des départs de feux déclarés au niveau de la wilaya d'El Tarf entre 1985 et 2012.

##### **IV.2.5.1. Relation entre la température maximale et les feux de forêts**

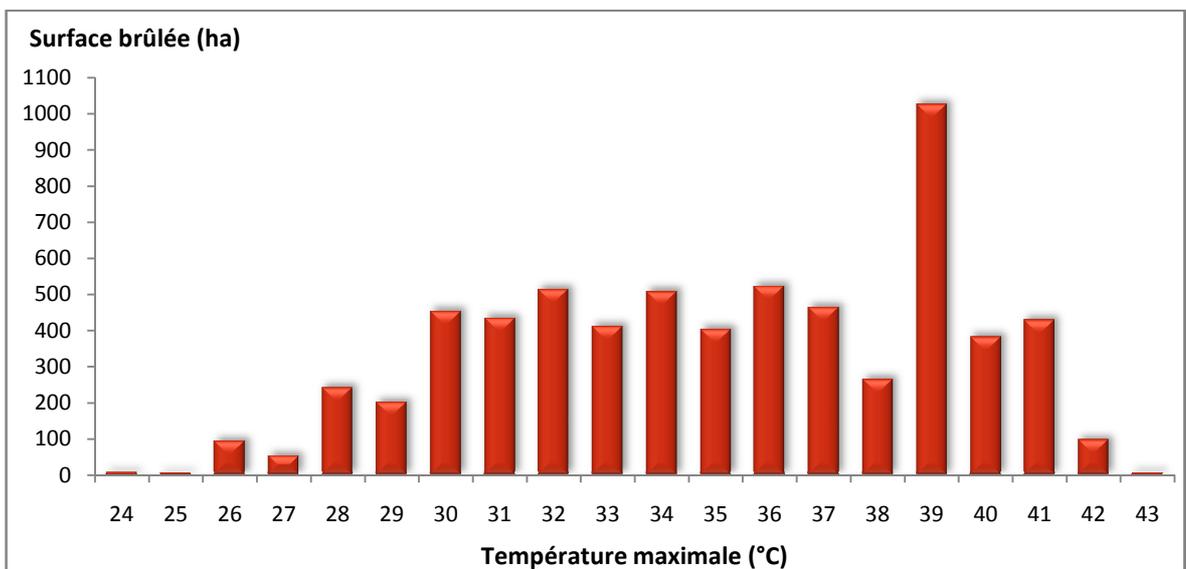
Les valeurs de température maximale, des journées ayant enregistré des départs de feux, sont comprises entre 24 et 43°C.

Les résultats montrent que 68% des départs de feux correspondent à des températures maximales inférieures à 33°C, et qu'au-delà de 38°C ils ne sont plus que 11% (Figure 68). On constate, globalement, qu'à partir de 31°C, la hausse des températures maximales s'accompagne d'une baisse du nombre de feux.

A l'inverse, les surfaces brûlées sont d'autant plus importantes que les températures maximales sont élevées. 63% des surfaces brûlées correspondent à des températures maximales supérieures à 33°C, avec un maximum enregistré à 39°C, où pas moins de 1.027 ha (16%) ont été brûlés (Figure 69).



**Figure 68 :** Répartition du nombre de feux en fonction des températures maximales.

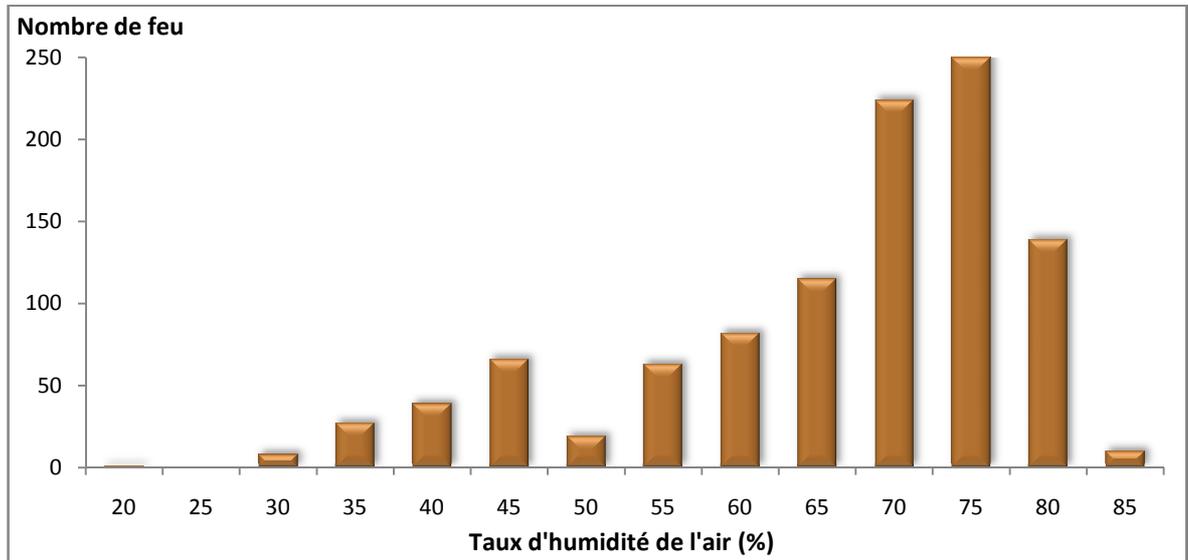


**Figure 69 :** Répartition des surfaces brûlées en fonction des températures maximales.

Ces résultats montrent que le facteur température n'a pas ou très peu d'incidence sur l'écllosion des feux de forêts, par contre il est déterminant pour ce qui est des surfaces brûlées. Les températures élevées contribuent à l'assèchement du combustible, ceci diminue le temps de la phase de préchauffage lors d'une mise à feu, ce qui accélère le processus de combustion favorisant la propagation du feu, avec pour conséquence d'importantes surfaces brûlées. A l'inverse, les températures basses ralentissent le processus de combustion puisque l'air plus froid que le combustible va absorber une grande partie de l'énergie thermique grâce au phénomène de convection.

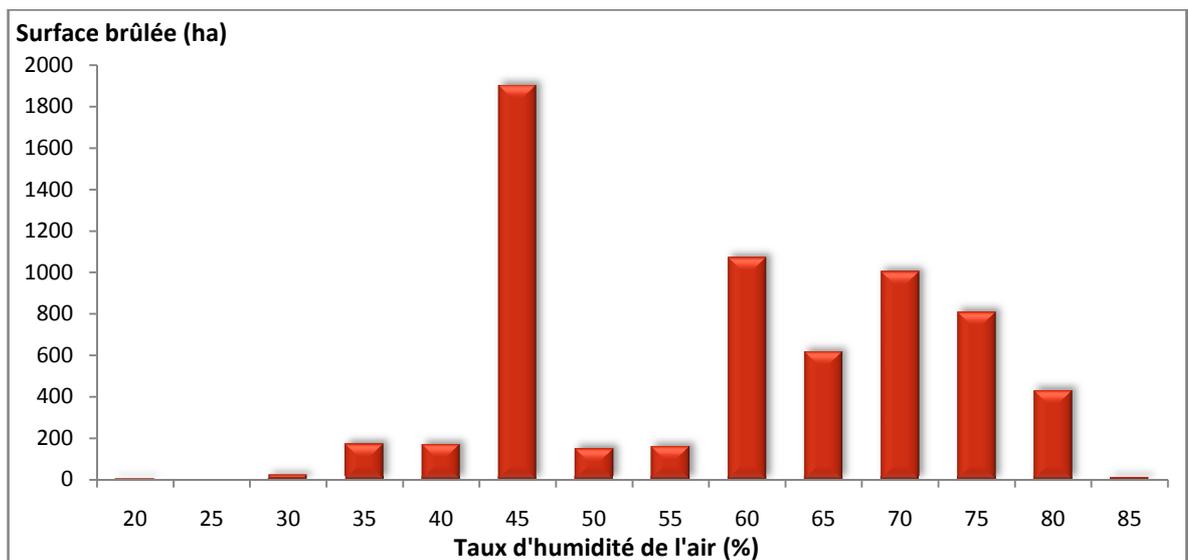
#### IV.2.5.2. Relation entre le taux d'humidité de l'air et les feux de forêts

D'après les résultats, on constate que durant les journées les plus sèches (taux <35%), seul 3% des départs de feux ont été signalés, alors que pour les journées les plus humides (taux compris entre 65 et 85%) plus de 70% des départs de feux ont été enregistrés (Figure 70).



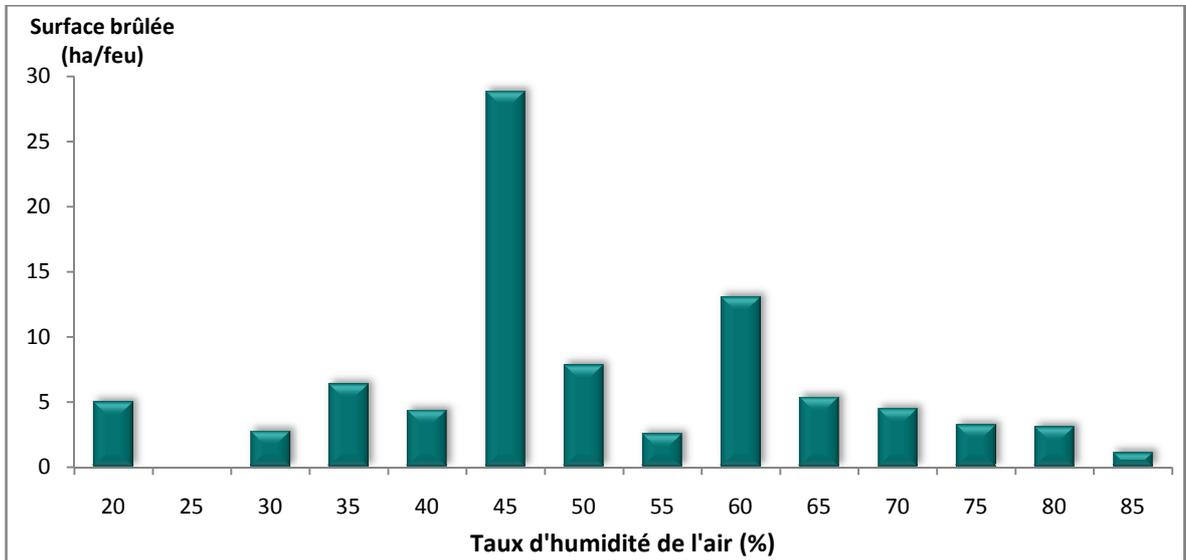
**Figure 70** : Répartition du nombre de feux en fonction du taux d'humidité de l'air.

La figure 71 montre, également, que même si le taux d'humidité de l'air de 45% affiche la plus grande surface brûlée, 60% de celles-ci sont enregistrées durant les journées avec un fort taux d'humidité compris entre 60 et 85%.



**Figure 71** : Répartition des surfaces brûlées en fonction du taux d'humidité de l'air.

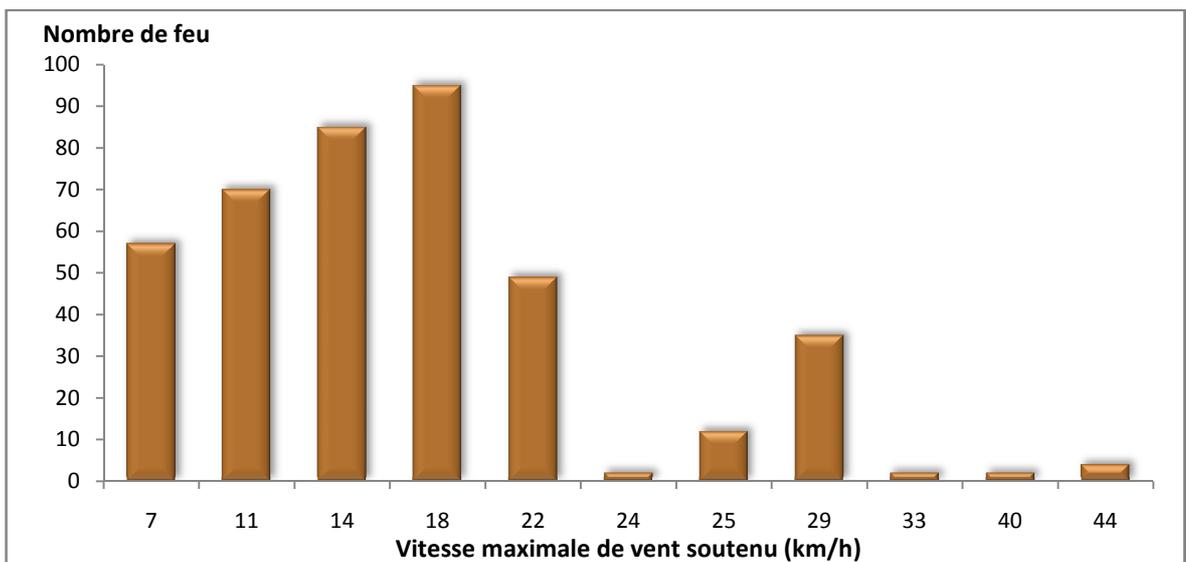
Cependant, si on prend en compte la surface moyenne brûlée par feu, les résultats sont plus nuancés, car 63% des surfaces moyennes par feu correspondent à un taux d'humidité de l'air inférieur à 50% (Figure 72).



**Figure 72 :** Répartition des surfaces moyennes brûlées par feu en fonction du taux d'humidité de l'air.

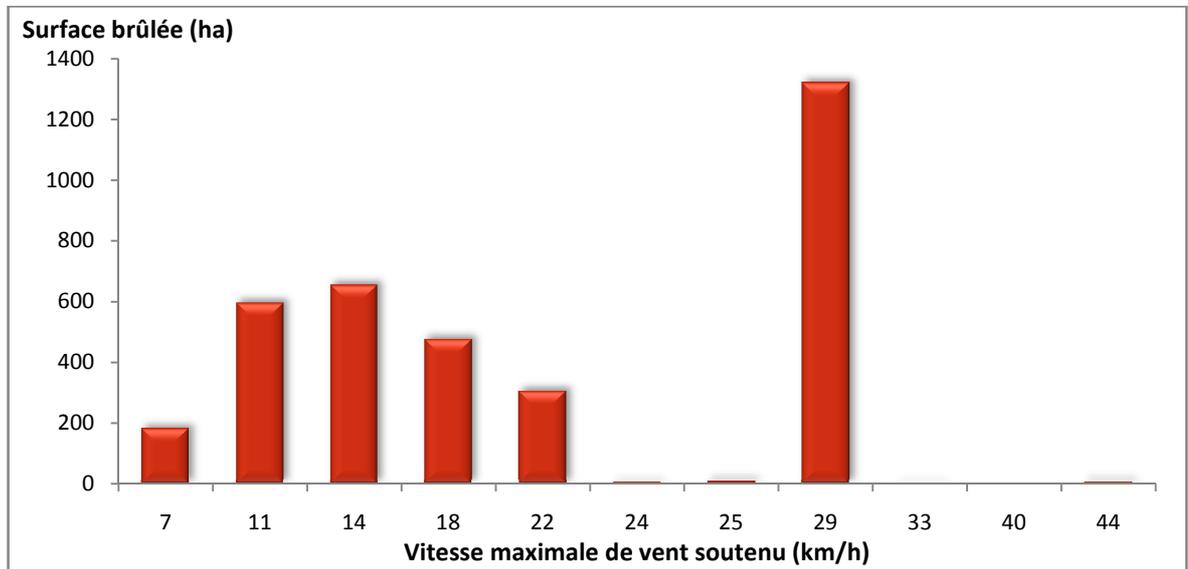
#### IV.2.5.3. Relation entre la vitesse maximale de vent soutenu et les feux de forêts

Les résultats montrent que durant les journées à vent faible, inférieur à 18 km/h, 74% des départs de feux ont été comptabilisés. Seul 10% des feux concernent des journées avec des vitesses de vent supérieures à 28 km/h et ce chiffre passe à 2% au-delà de 33 km/h (Figure 73).

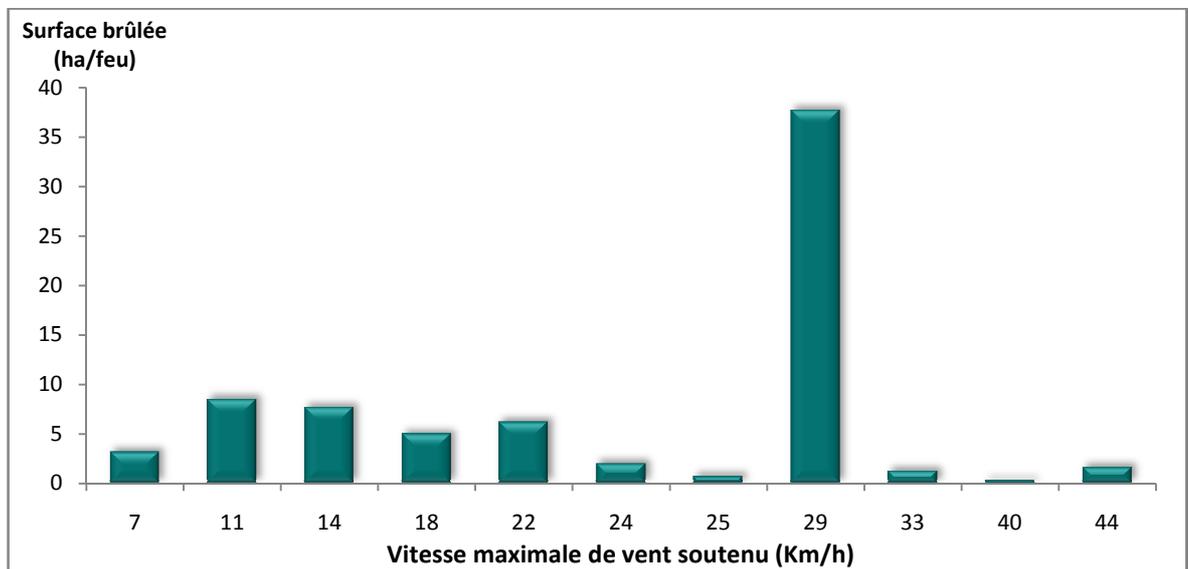


**Figure 73 :** Répartition du nombre de feux en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu.

Même constatation concernant la surface brûlée, puisque les journées avec des vitesses de vent inférieures à 22 km/h représentent 62% des surfaces brûlées (Figure 74). Cependant, la surface moyenne brûlée par feu est plus élevée (plus de 55%) lorsque la vitesse maximale de vent soutenu est supérieure à 29 km/h (Figure 75).



**Figure 74 :** Répartition des surfaces brûlées en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu.



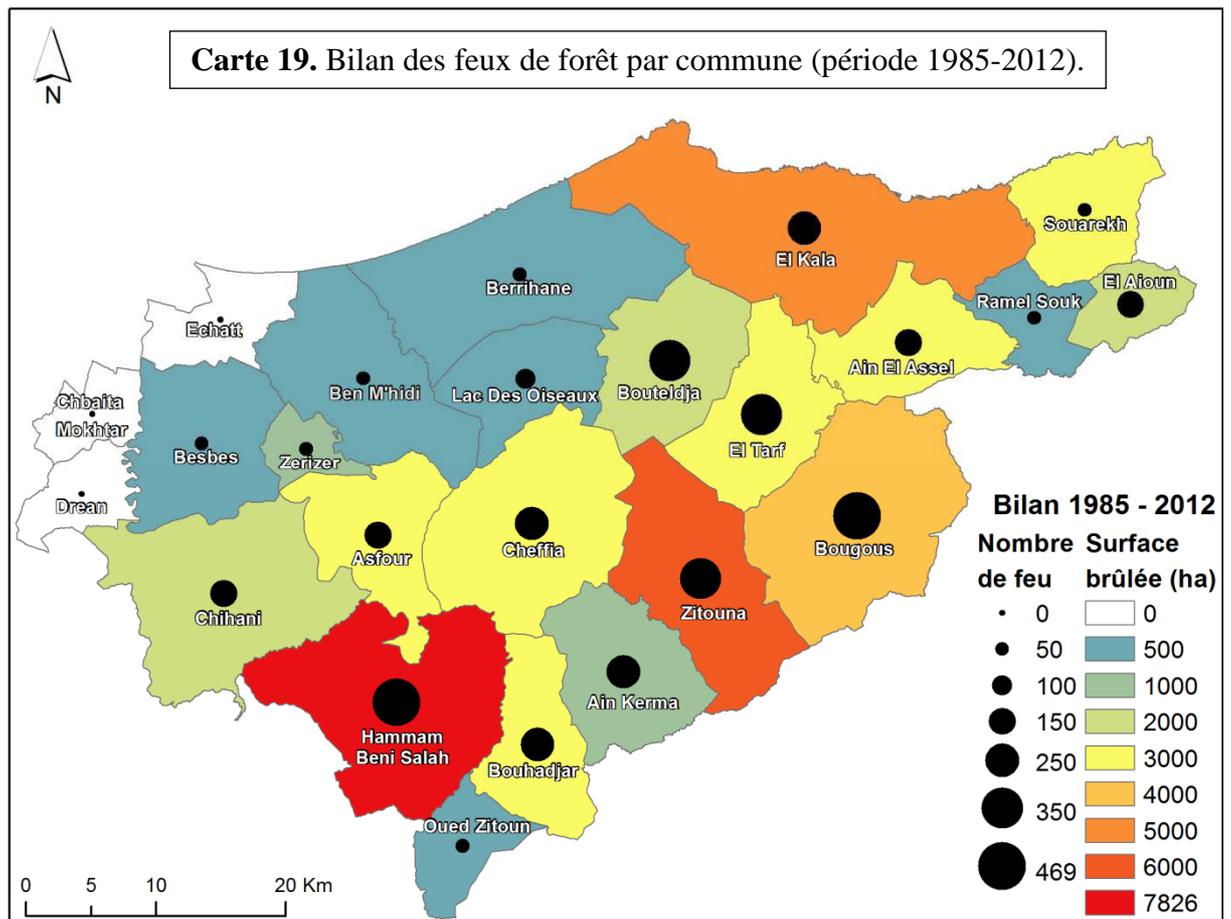
**Figure 75 :** Surfaces moyennes brûlées par feu en fonction de la vitesse maximale de vent soutenu.

A la lumière des résultats de l'étude météorologique des feux de forêts au niveau de la wilaya d'El Tarf, on peut dire que la température, l'humidité de l'air et la vitesse du vent ne sont pas des facteurs de déclenchement des feux, mais plutôt des facteurs favorisant la propagation de ces derniers.

### IV.2.6. Analyse spatiale des feux de forêts suivant les communes

Sur les 24 communes que compte la wilaya d'El Tarf, 21 ont été touchées par les feux de forêts durant la période 1985-2012. Pour les trois communes restantes, la commune d'Echatt n'a enregistré aucun départ de feu, alors que celles de Drean et Chbaita Mokhtar sont dépourvues de couvertures forestières.

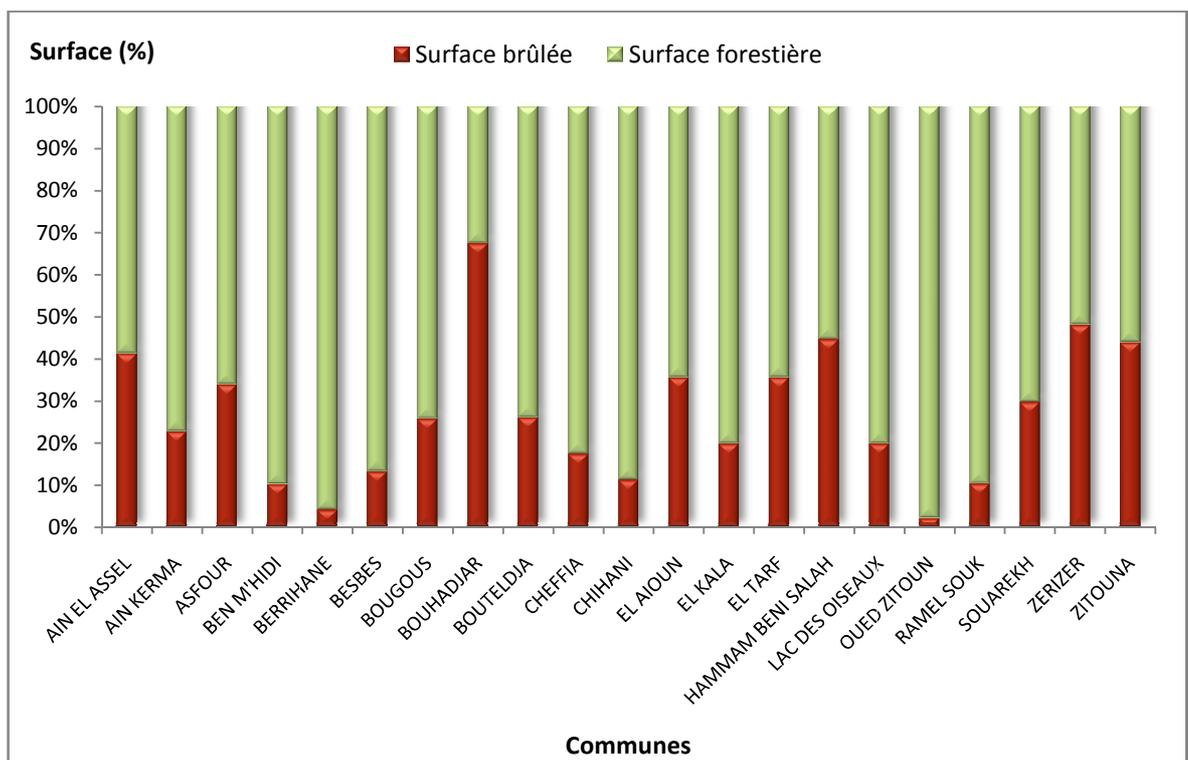
La commune de Hammam Beni Salah est la plus touchée par les feux de forêts, avec une superficie brûlée de 7.826 ha soit 18%. Par ailleurs, les 4 communes à savoir : Hammam Beni Salah, Zitouna, El Kala et Bougous totalisent une superficie brûlée de 21.314 ha soit 49,34%. Les feux dans ces communes, prises individuellement, dépassent les 3.000 ha. Par contre, dans les 17 communes restantes la superficie brûlée est en deçà de la valeur suscitée et atteint dans certains cas des valeurs négligeables, comme c'est le cas des communes Oued Zitoun et Besbes, avec respectivement 39 et 150 ha (Carte 19).



Concernant le nombre de feu, à l'exception des communes de Bouteldja et Ain Kerma qui ont un nombre de feu important par rapport à la superficie brûlée, les communes

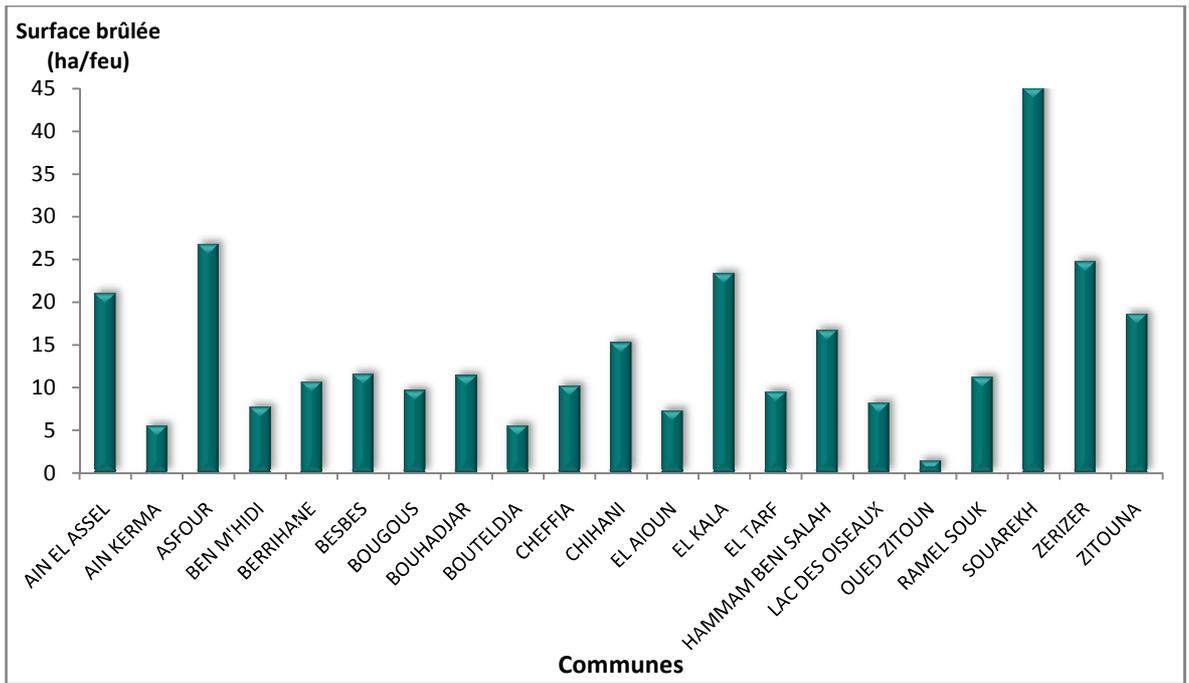
enregistrant les plus grandes surfaces brûlées sont aussi celles qui ont le plus grand nombre de feu, à l'image des communes Hammam Beni Salah et Bougous. Ceci démontre la prédominance des feux dans les communes fortement boisées, notamment celles disposant d'un patrimoine subéricole important.

Étant donné que la surface forestière diffère d'une commune à une autre, il est important de calculer le ratio surface brûlée/surface forestière pour comparer l'impact des feux au niveau de chaque commune. Les résultats montrent que c'est la commune de Bouhadjar qui présente le plus grand ratio, avec plus de 67% de sa surface forestière brûlée (Figure 76). La commune d'El Kala qui dispose de la plus grande surface forestière, avec 20.589 ha, affiche un ratio moins important évalué à 19%, alors que la commune de Hammam Beni Salah, a vu 45% de ses 17.551 ha de surface forestière brûlée.



**Figure 76 :** Pourcentage des surfaces brûlées par rapport aux surfaces forestières des communes.

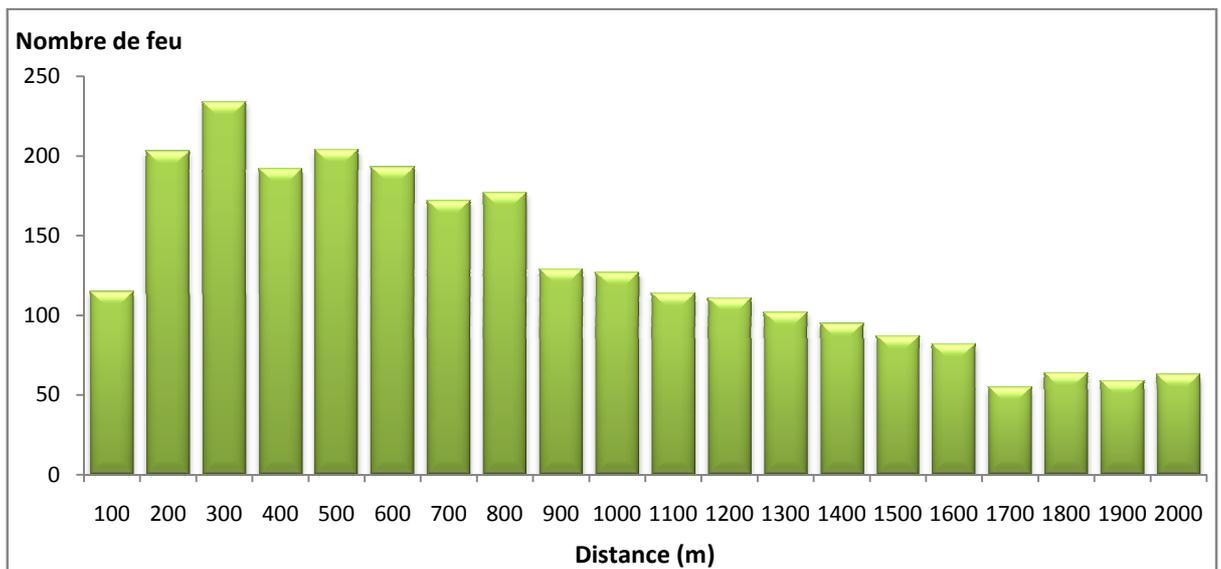
En ce qui concerne l'importance des feux, exprimé par la surface moyenne brûlée par feu, c'est la commune de Souarekh qui vient en tête avec 45 ha/feu (Figure 77). Cette moyenne élevée est due à la nature du relief qui caractérise cette commune à la fois côtière et frontalière avec la Tunisie. En effet le relief est accidenté avec des pentes fortes ce qui favorise la propagation du feu et rend difficile l'intervention des moyens de lutte.



**Figure 77 :** Répartition des surfaces moyennes brûlées par feu et par communes.

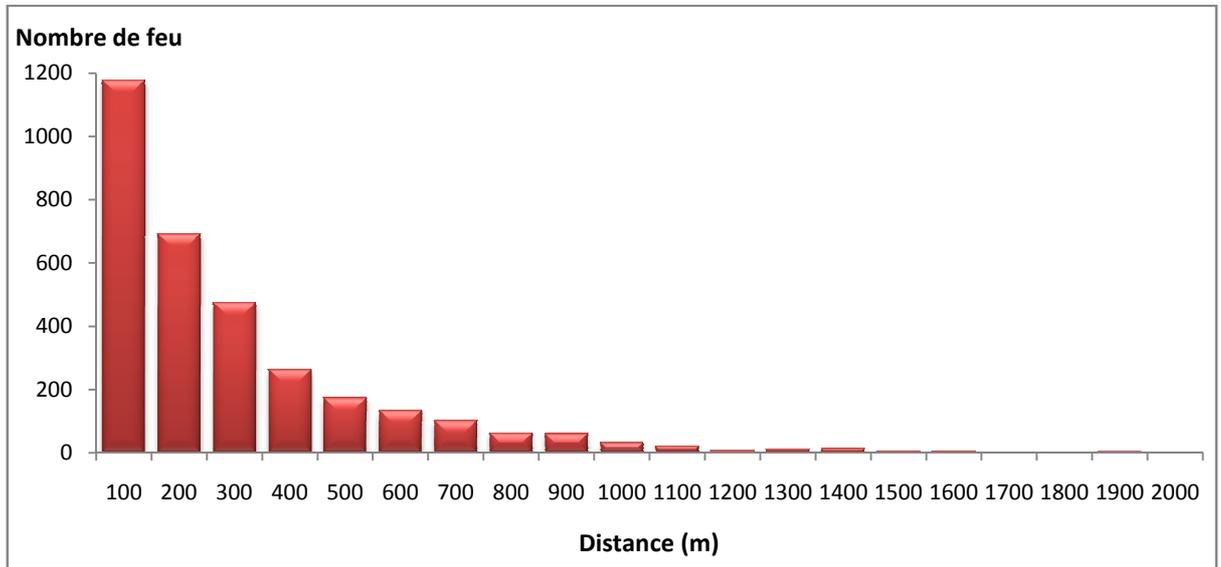
**IV.2.7. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières**

Les résultats révèlent que seulement 3% des départs de feux sont localisés à moins de 100 m d'une route, alors qu'au-delà de 500 m, ils représentent 77% (Figure 78).



**Figure 78 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des routes.

Concernant les pistes forestières, le nombre des départs de feux est d'autant plus élevé que la distance aux pistes est faible. A l'inverse des routes, 80% des départs de feux sont à moins de 500 m d'une piste. Le nombre le plus élevé de départs de feux est localisé à moins de 100 m d'une piste, avec 1.178 feux, soit 36% (Figure 79).



**Figure 79 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des pistes forestières.

Ces résultats montrent que les routes traversant les massifs forestiers ne présentent pas un risque important en matière de départ de feu.

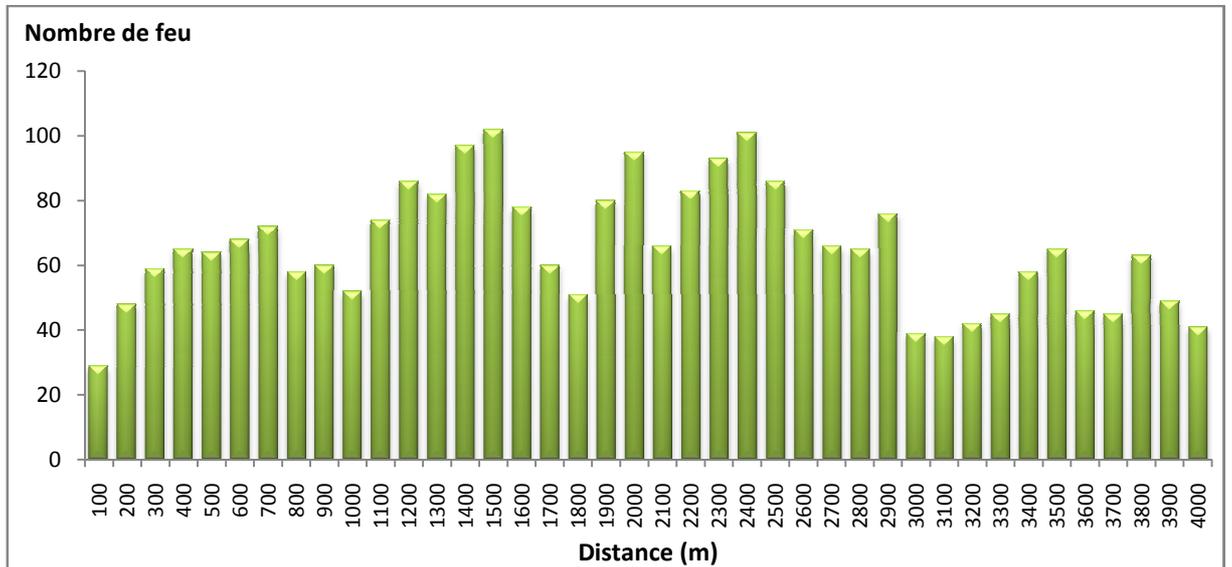
Par contre, les pistes forestières représentent un réel danger en termes de départ de feu. Ceci peut être expliqué par le fait que ces pistes facilitent l'accès aux forêts, notamment, aux formations de maquis dense et difficilement accessible, qui sont les plus touchées par les départs de feux, en raison d'une forte pression anthropique exercée sur ces derniers.

## **IV.2.8. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine**

### **IV.2.8.1. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/habitat**

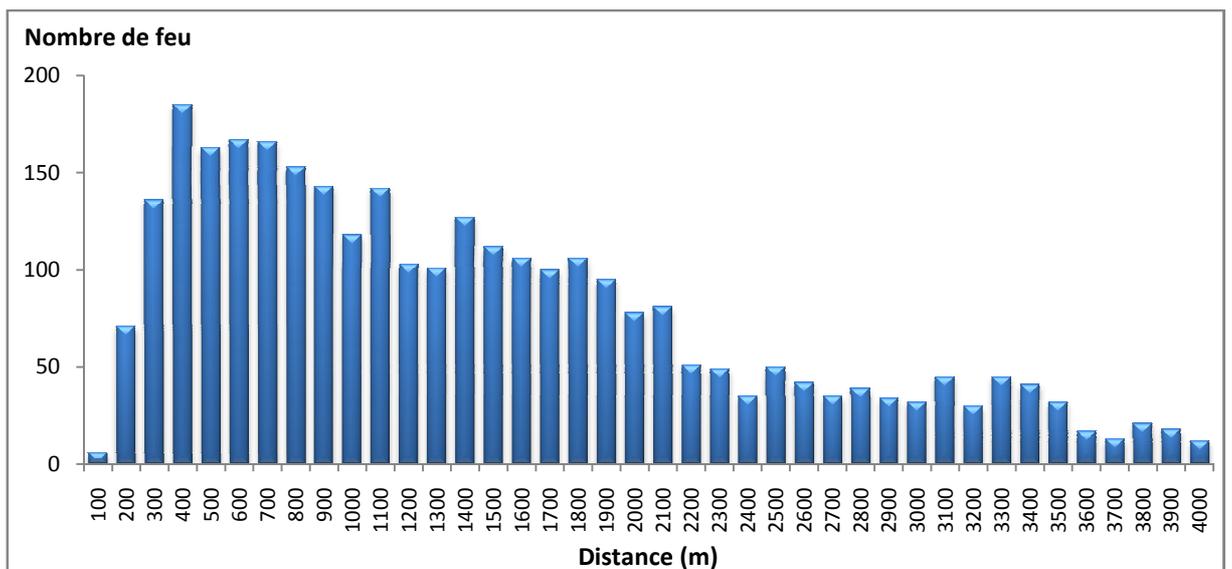
Trois catégories d'interface forêt/habitat ont été étudiées : les villages, les maisons rurales éparses et les fermes isolées.

Les résultats montrent que 16% seulement des feux sont à moins de 1.000 m des villages, alors que 60% sont à plus de 2.000 m (Figure 80).



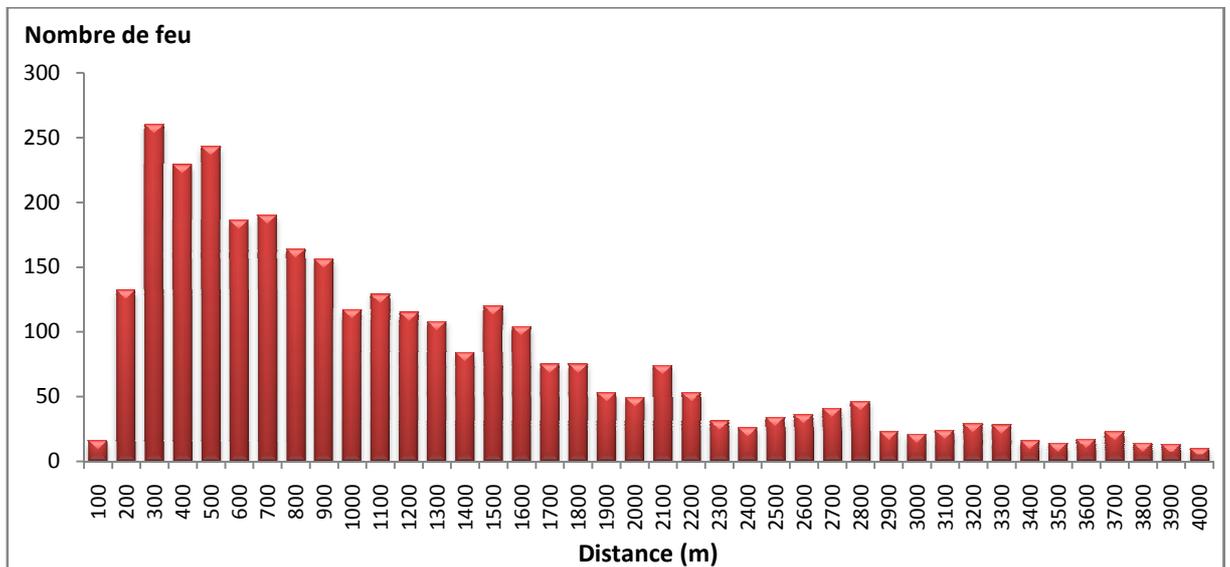
**Figure 80 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des villages.

En ce qui concerne les maisons rurales éparses, 37% des départs de feux sont à moins de 1.000 m, mais au-delà de 2.000 m ils ne sont plus que 27% (Figure 81).



**Figure 81 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des maisons rurales éparses.

Pour les fermes isolées, 1.693 départs de feux, soit 52% ont été localisés à moins de 1.000 m et 20% au-delà de 2.000 m (Figure 82).



**Figure 82 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des fermes isolées.

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

Dans la wilaya d'El Tarf, les fermes isolées traduisent le plus souvent une activité d'élevage qui occupe une place privilégiée. Cependant, l'existence d'un nombre élevé d'éleveurs sans terre, représentant 42,78% des agriculteurs de la wilaya, les poussent à conduire leurs élevages au profit des ressources naturelles (forêts et parcours).

Les parcours et pacages ne sont estimés qu'à 8.518 ha soit 10,14% de la S.A.T. Ils sont constitués principalement de maquis clairs dégradés, subissant régulièrement la pression du cheptel. L'élevage de type extensif, itinérant est mené d'une manière traditionnelle en pâturage libre. Cette situation se traduit globalement par une pression de l'activité d'élevage sur les ressources naturelles de la wilaya, surtout les forêts.

Les principales motivations qui poussent les éleveurs à mettre le feu sont multiples : la régénération des parcours, l'ouverture des maquis denses, ou simplement par esprit de vengeance à l'égard de l'administration forestière en cas de conflit avec celle-ci sur la réglementation du pâturage en forêt.

Une image du satellite QuickBird, fournie par Google Earth, a été prise juste après l'écllosion de plusieurs départs de feux dans la commune de Hammam Beni Salah le 20/08/2010 (Figure 83).



**Figure 83** : Image satellite QuickBird du 20-08-2010 (Google Earth).

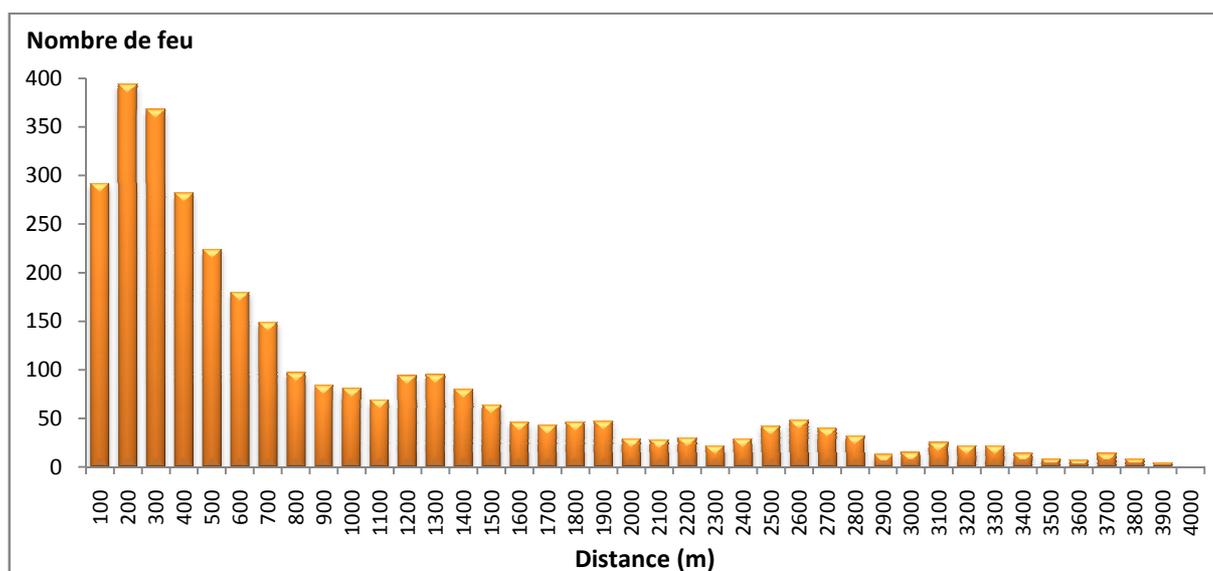
Les départs de feux au nombre de 3, ce sont déclaré au niveau du canton Boumia de la forêt domaniale de Beni Salah. Cette image apporte une preuve sur le rôle de l'action anthropique dans l'écllosion des feux de forêts. Les feux n° 1 et 2 sont à 2 m de la piste forestière, alors que le 3<sup>ème</sup> feu est à moins de 160 m.

De plus, on remarque que les feux 1 et 2 sont allumés simultanément de part et d'autre de la tranchée pare-feu (TPF) pour inhiber son rôle de coupe feu et brûler ainsi le maximum de surface. Les trois feux de l'image satellite sont à moins de 1.000 m des fermes : le premier est à 700 m, le second à 900 m et le troisième à 400 m.

Toutes ces observations confirment encore une fois de plus, que la majorité des départs de feux sont d'origine humaine avec une mise à feu volontaire. D'après les bilans de la direction générale des forêts, en Algérie durant la période 1985-2006, 86% des départs de feux, dont l'origine est connue, sont volontaire.

#### IV.2.8.2. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/agriculture

Le nombre des départs de feux est d'autant plus élevé que la distance aux terres agricoles est faible. 66% des départs de feux sont à moins de 1.000 m d'une terre agricole et 48% sont à moins de 500 m. Au-delà de 2.000 m, seul 15% des départs de feux ont été enregistrés (Figure 84).



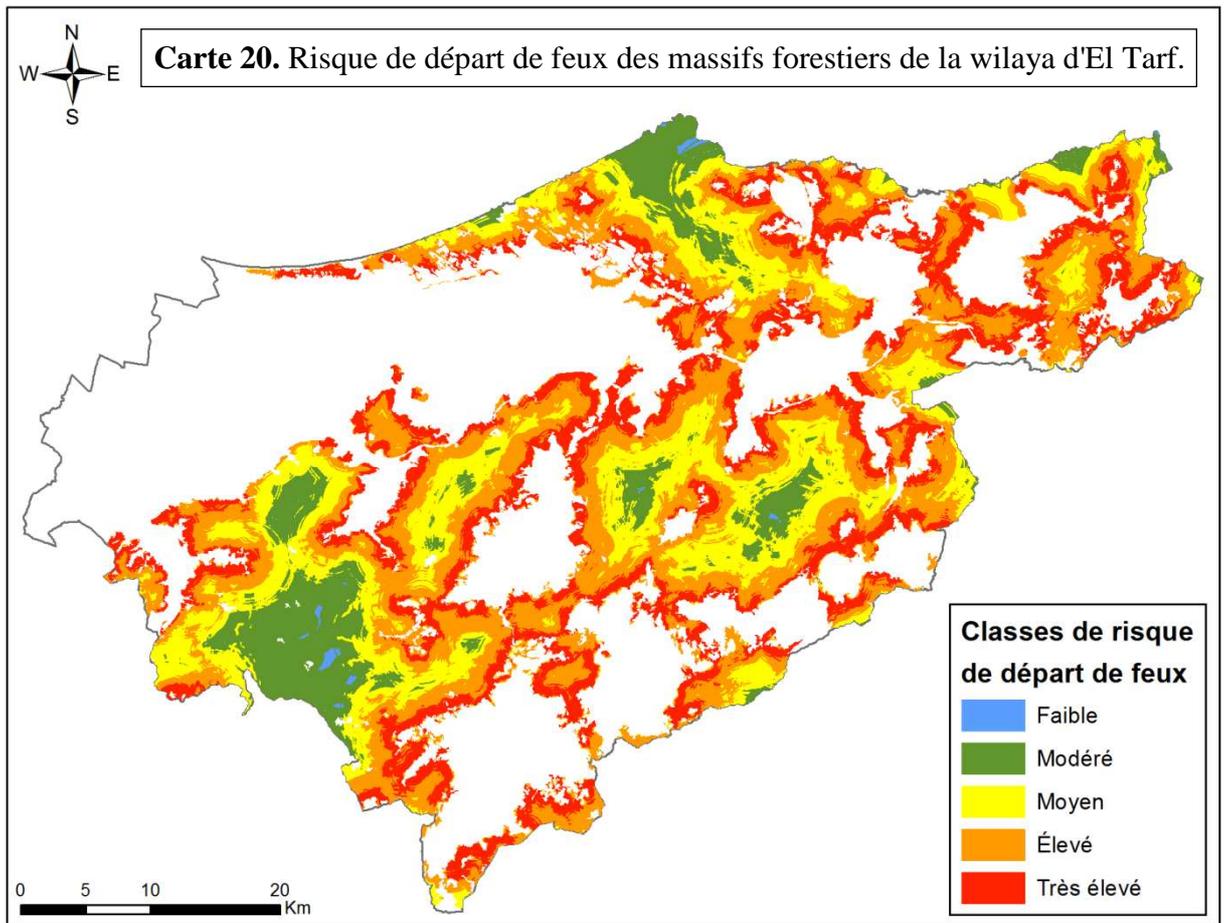
**Figure 84 :** Distribution spatiale des feux de forêts en fonction de l'agriculture.

À proximité des interfaces forêt/agriculture le risque de départs de feux est important. Le défrichage par le feu, utilisé par certains agriculteurs, reste la principale cause des départs de feux de forêts. Chaque année de nombreux délits concernant les défrichements sont signalés par la conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf. De nombreux défrichements sont utilisés pour la culture d'arachides.

### IV.3. Requêtes spatiales et attributaires

#### IV.3.1. Carte de risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

L'indice de départ de feux IDF, dont les valeurs sont comprises entre 4 et 20, a été classé suivant 5 niveaux de risque : faible, modéré, moyen, élevé et très élevé (Carte 20). Cette carte nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif à la probabilité d'occurrence des feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.



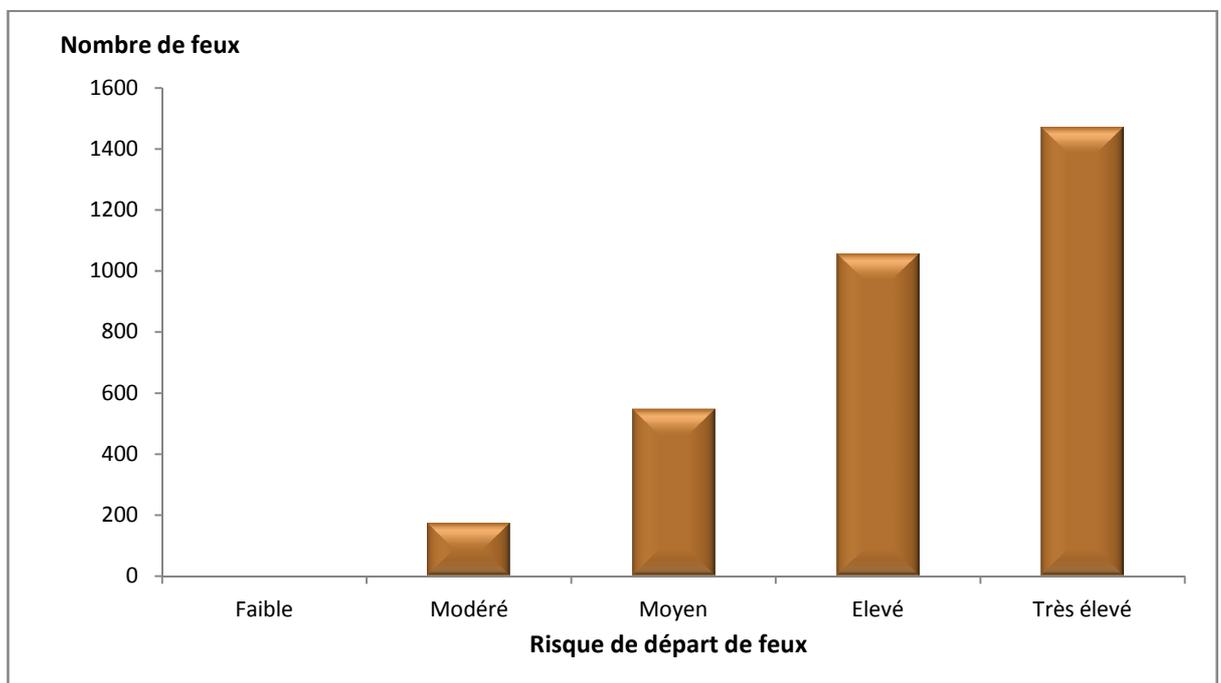
D'après les résultats obtenus, les classes de risque élevé et très élevé concernent plus de 62% des massifs forestiers avec respectivement 37% et 25%. Seul 0,25% des massifs forestiers présentent un risque faible et 12% un risque modéré (Tableau 18).

**Tableau 18.** Classes de risque de départ de feu des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.

Classes de risque de départ de feu	Surface forestière (ha)	Surface forestière (%)
Faible	403,21	00,25
Modéré	19.974,65	12,41
Moyen	39.619,55	24,61
Élevé	60.394,33	37,52
Très élevé	40.577,33	25,21

Toutes les forêts domaniales et communales de la wilaya d'El Tarf présentent des niveaux de risque élevé et très élevé en matière de mise à feu. Cependant, les zones à risque très élevé sont localisées, essentiellement, au niveau des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture qui longent les pistes forestières (Carte 20).

La validation des résultats de la carte de risque, estimée à partir de l'indice de départ de feux, passe par une comparaison entre les classes de risque et l'historique du nombre de feux déclarés entre 1985 et 2012. Le cumul du nombre de feux au cours des 28 années à été calculé pour chaque classe de risque (Figure 85).



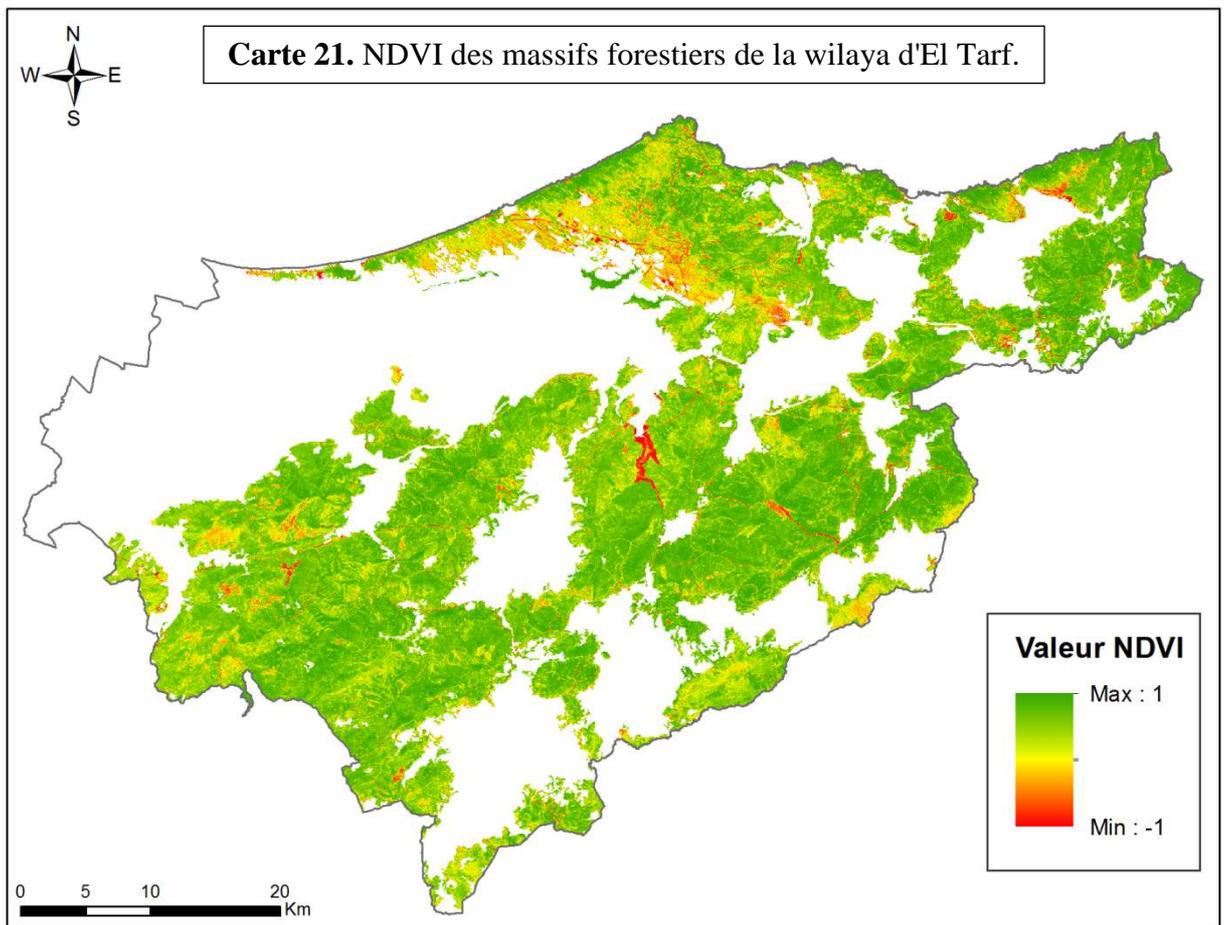
**Figure 85 :** Répartition du nombre de feux entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IDF.

Les résultats révèlent que 78% des feux, entre 1985 et 2012, concernent les zones à risque élevé et très élevé de départ de feux, avec respectivement 33% et 45%. A l'inverse, aucun feu n'a été signalé au niveau des zones à risque faible et seulement 5% pour les zones à risque modéré (Figure 85).

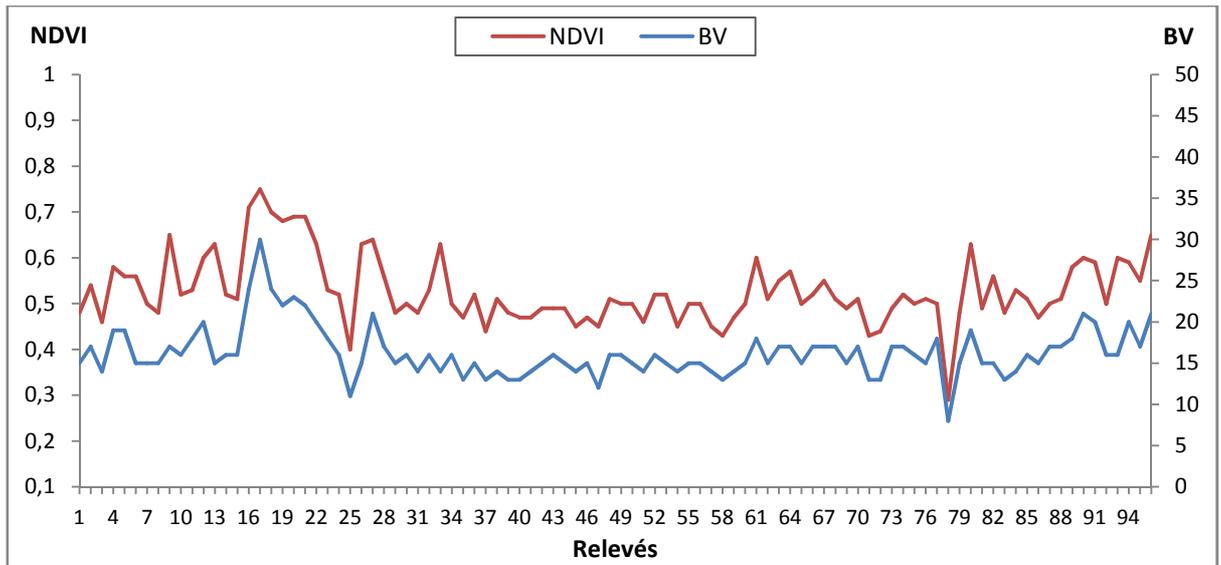
Les résultats de cette comparaison confirment la fiabilité et la précision de la carte du risque de départ de feux. Cette carte constitue un outil important pour les gestionnaires et les décideurs dans le cadre de la prévention et la gestion des feux de forêts au niveau des massifs forestiers de la wilaya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

### IV.3.2. Carte de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf

Les valeurs de l'NDVI calculées pour l'ensemble des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf sont comprises entre -1 et +1 avec une moyenne de 0,73 (Carte 21). Les valeurs les plus faibles, représentées en rouge, correspondent aux oueds traversant les massifs forestiers et aux zones humides localisées essentiellement au niveau du cordon dunaire. La couleur jaune exprimant les valeurs nulles de l'NDVI correspond généralement au réseau de pistes forestières et aux zones de défrichement. Enfin la couleur verte correspond à la végétation, où les peuplements clairsemés voir dégradés ont des tons plus clairs, alors que les futaies et maquis denses sont représentés par des tons plus foncés.

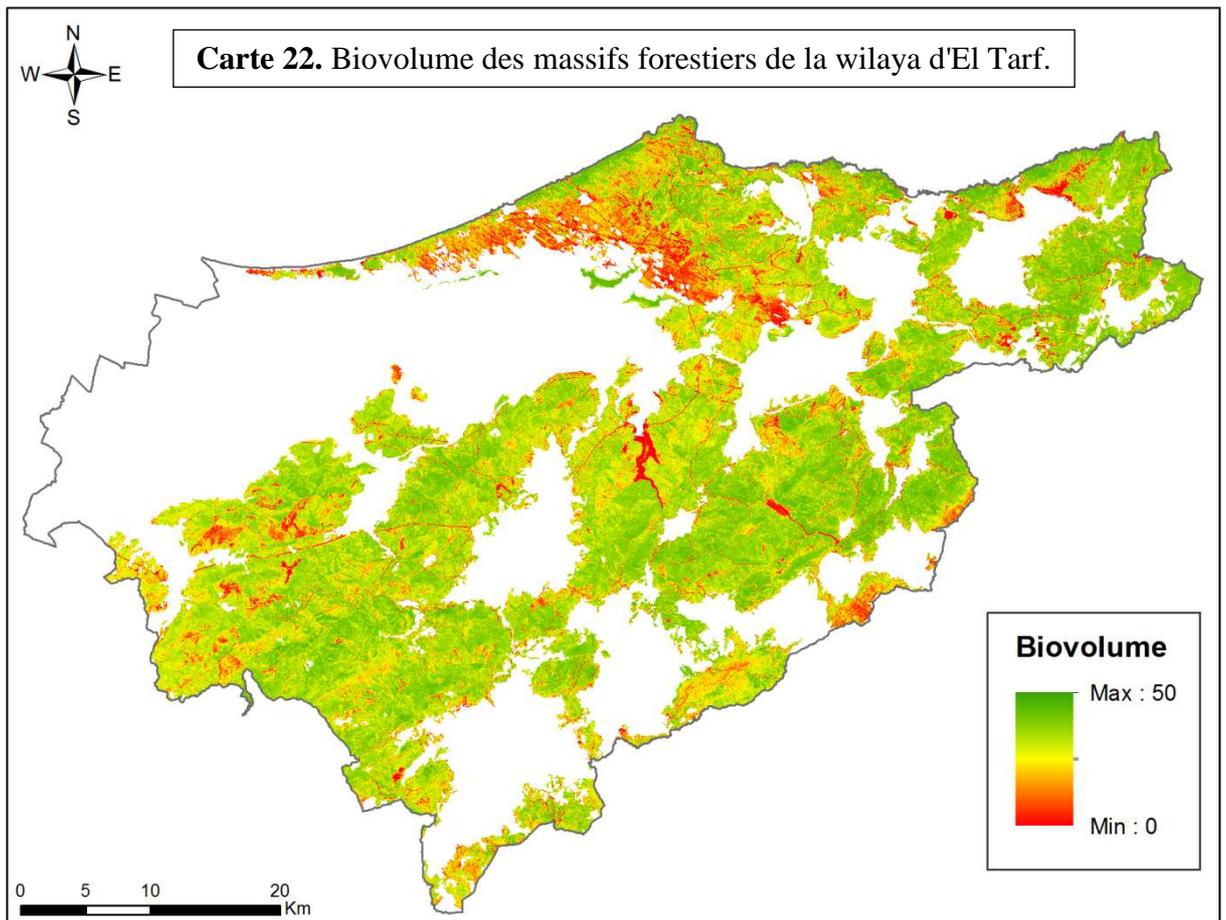


Ces valeurs d'NDVI, calculées à partir de l'image satellite, ont été comparées aux valeurs du biovolume estimées au niveau de 96 relevés de terrain. Les résultats montrent que l'NDVI reflète bien les variations du biovolume de la végétation. (Figure 86).

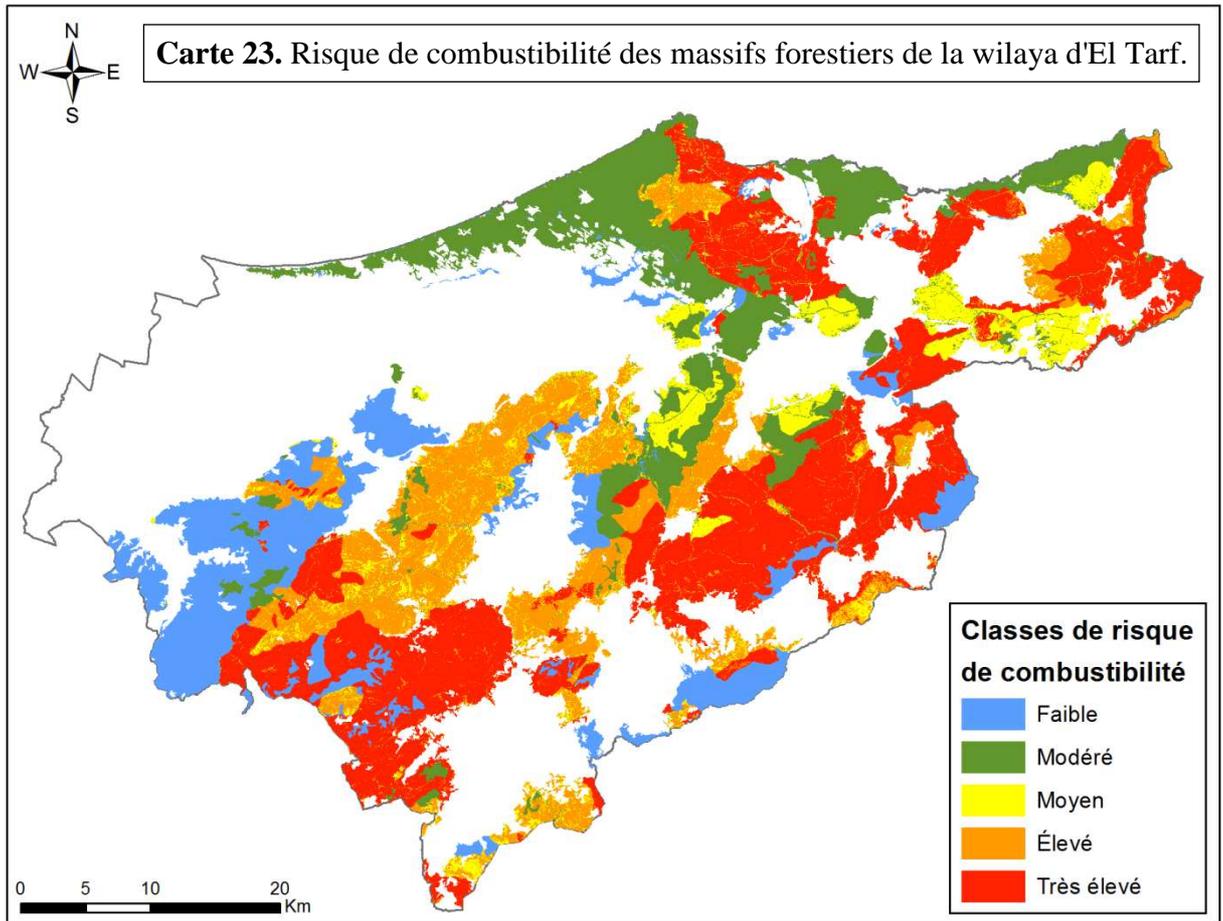


**Figure 86 :** Comparaison entre l’NDVI et le biovolume estimés sur terrain.

Les valeurs de l’NDVI, une fois validées, ont été utilisées comme référence de base pour l’estimation du biovolume global des massifs forestiers de la wilaya d’El Tarf (Carte 22). Les valeurs du biovolume varient entre 0 et 50 avec une moyenne de 35,64.



Les valeurs du biovolume combinées aux notes d'intensité calorifique des espèces dominantes, extraites à partir de la carte des formations forestières, ont servi au calcul de l'indice de combustibilité "IC". Cet indice, dont les valeurs sont comprises entre 0 et 123,53, a été classé suivant 5 niveaux de risque : faible, modéré, moyen, élevé et très élevé (Carte 23).



La carte 23 nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif à la gravité et à la vitesse de propagation du feu au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf. D'après les résultats obtenus, les classes de risque élevé et très élevé concernent plus de 55% des massifs forestiers, alors que 16% seulement présentent un risque faible (Tableau 19).

**Tableau 19.** Classes de risque de combustibilité des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.

Classes de risque de combustibilité	Surface forestière (ha)	Surface forestière (%)
Faible	26.047,41	16,18
Modéré	29.541,84	18,36
Moyen	15.763,81	09,80
Élevé	31.202,15	19,39
Très élevé	58.373,81	36,27

Les forêts présentant un risque très élevé de combustibilité, par ordre d'importance, sont :

- forêt domaniale Beni Salah, commune de Hammam Beni Salah et de Chihani ;
- forêt domaniale Zitouna ;
- forêt domaniale Brabtia, commune d'El Kala ;
- forêt domaniale Oued Bougous ;
- forêt domaniale El Tarf ;
- forêt domaniale Ain Kerma ;
- forêt domaniale Souarekh ;
- forêt domaniale Djebel Dyr, commune de Zitouna ;
- forêt domaniale Nehd, commune d'El Aïoun ;
- forêt domaniale Khanguet Aoun, commune d'Aïn El Assel ;
- forêt domaniale El Kala.

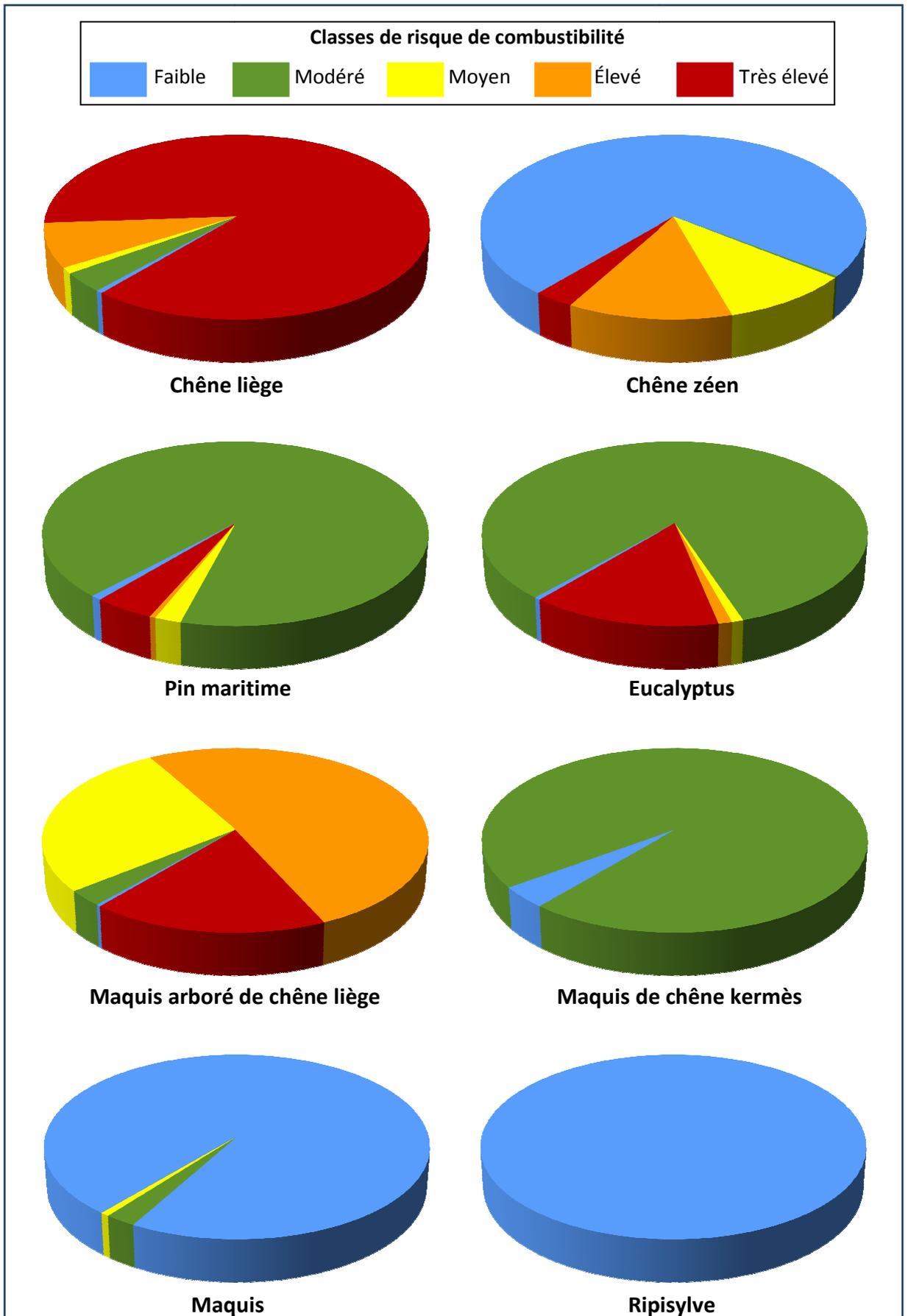
Les forêts présentant un risque élevé de combustibilité, par ordre d'importance, sont :

- forêt domaniale Bouabed, commune d'Asfour ;
- forêt domaniale Fedj Laamed, commune de Bouhadjar et d'Oued Zitoun ;
- forêt domaniale Belghouba, commune d'Asfour ;
- forêt domaniale El Ghourrah, commune de Bougous.

Le bilan des surfaces brûlées par commune, entre 1985 et 2012, vient confirmer cette distribution spatiale du risque de combustibilité, puisque ce sont les communes de Hammam Beni Salah, Zitouna, El Kala et Bougous qui ont été les plus touchées par les feux de forêts (Carte 19).

#### **IV.3.2.1. Analyse du risque de combustibilité des différentes formations forestières**

Les résultats d'analyse de la répartition des différents niveaux du risque de combustibilité pour chaque type de formation forestière sont présentés dans la figure 87.



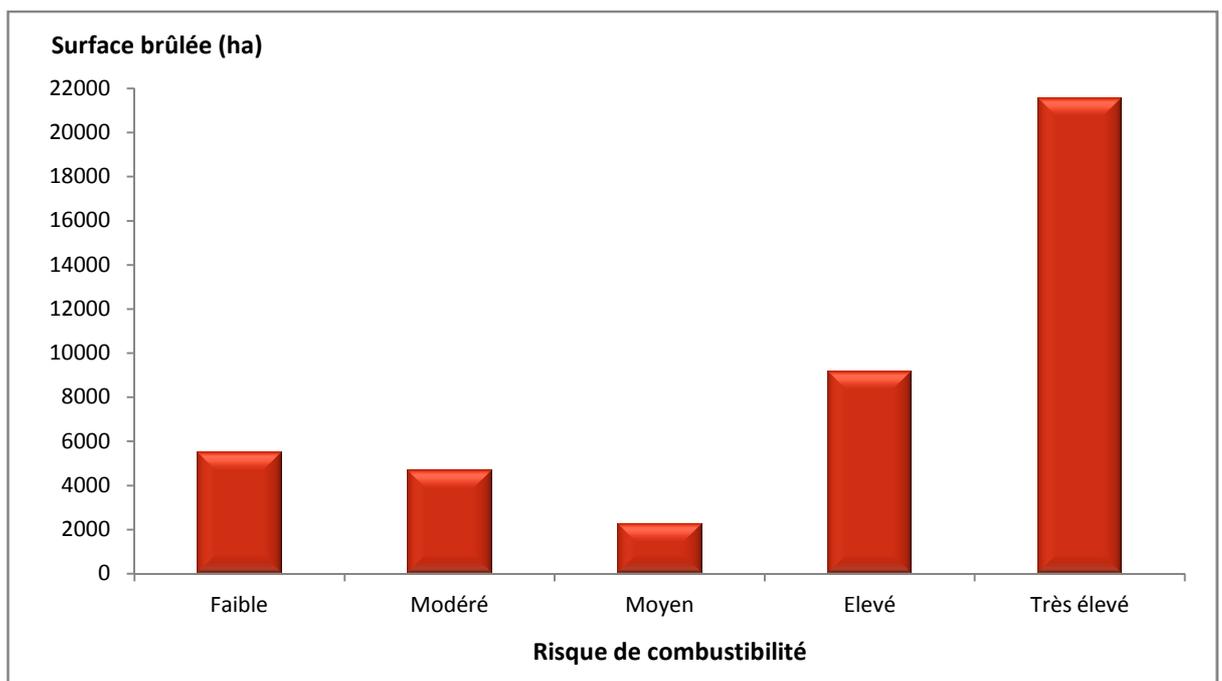
**Figure 87 :** Risque de combustibilité des formations forestières de la wilaya d'El Tarf.

On note que les formations de chêne liège et son maquis arboré présentent le plus grand risque de combustibilité avec respectivement 87% et 18% de leurs surfaces totales. Ils sont suivis par les formations à base d'eucalyptus avec 14% de risque très élevé. Pour le reste, le pin maritime et le maquis de chêne kermès présentent un risque modéré, alors que le chêne zéen, les maquis et les ripisylves présentent un risque faible de combustibilité (Figure 87).

Les bilans des feux de forêts de 1985 à 2012 confirment, une fois de plus, ces résultats, car la subéraie reste de loin la plus touchée par les feux de forêts avec 53% de la surface totale brûlée. La formation d'eucalyptus affiche un pourcentage de surface brûlée égal à 13%. Les formations de chêne zéen de pin maritime et de ripisylve ne représentent que 5% des surfaces brûlées durant la même période (Figure 66).

#### IV.3.2.2. Comparaison entre la carte de risque de combustibilité et la réalité du terrain

La validation des résultats de la carte de risque, estimée à partir de l'indice de combustibilité, passe par une comparaison entre les classes de risque et l'historique des surfaces brûlées entre 1985 et 2012. Le cumul des surfaces brûlées au cours des 28 ans à été calculé pour chaque classe de risque (Figure 88).



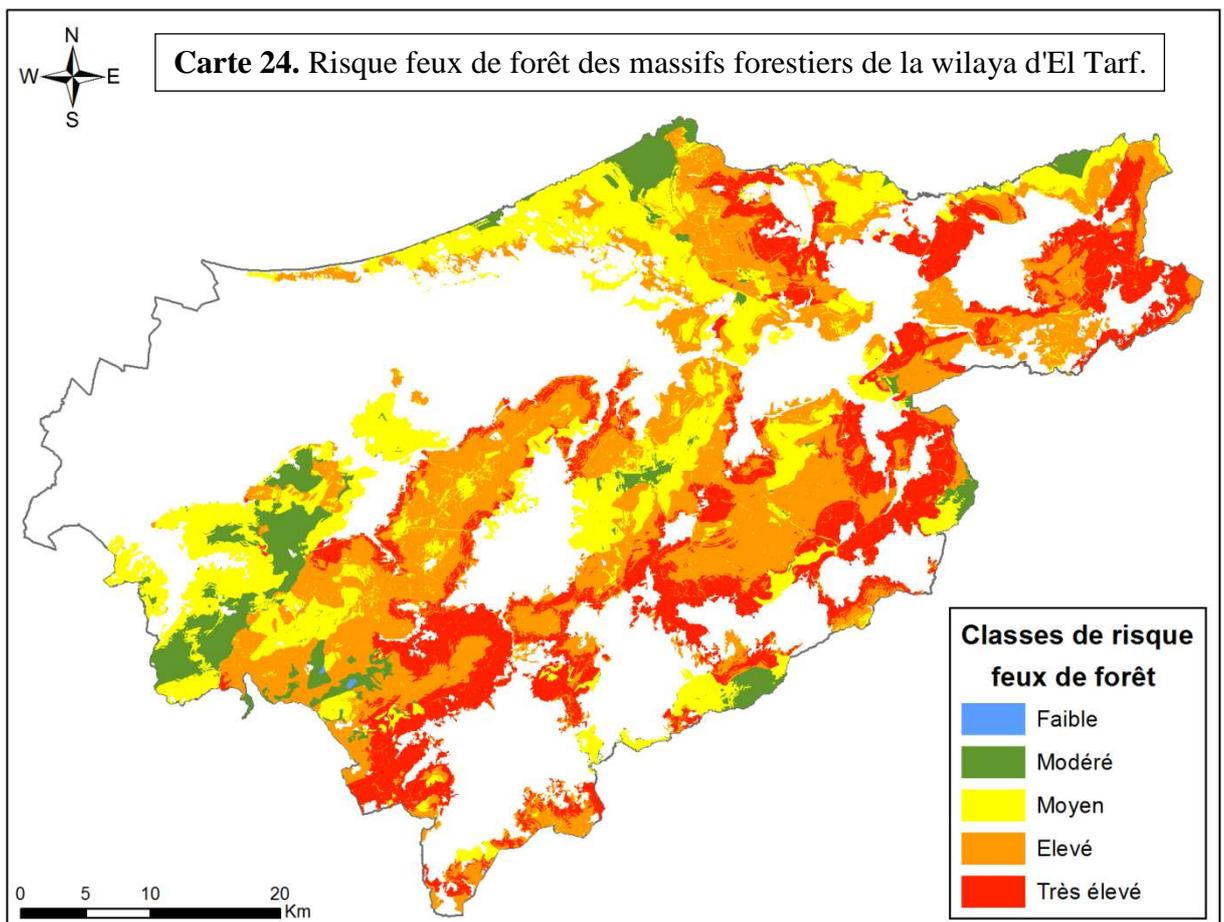
**Figure 88** : Répartition des surfaces brûlées entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IC.

Les résultats révèlent que 71% des surfaces brûlées, entre 1985 et 2012, concernent les massifs forestiers présentant un risque de combustibilité élevé et très élevé, avec respectivement 21% et 50%. Par contre, seul 12% des surfaces brûlées ont été enregistrées au niveau des massifs forestiers présentant un risque de combustibilité faible (Figure 88).

Tous ces résultats confirment la fiabilité et la précision de la carte du risque de combustibilité. Cette carte constitue donc, un outil important pour les gestionnaires et les décideurs dans le cadre de la lutte et la gestion des feux de forêts au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.

### IV.3.3. Carte de risque feux de forêts de la wilaya d'El Tarf

Le résultat du calcul et du classement de l'indice de risque feux de forêts IRF, illustré par la carte 24, nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif à la probabilité d'occurrence des feux et leurs gravités au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.



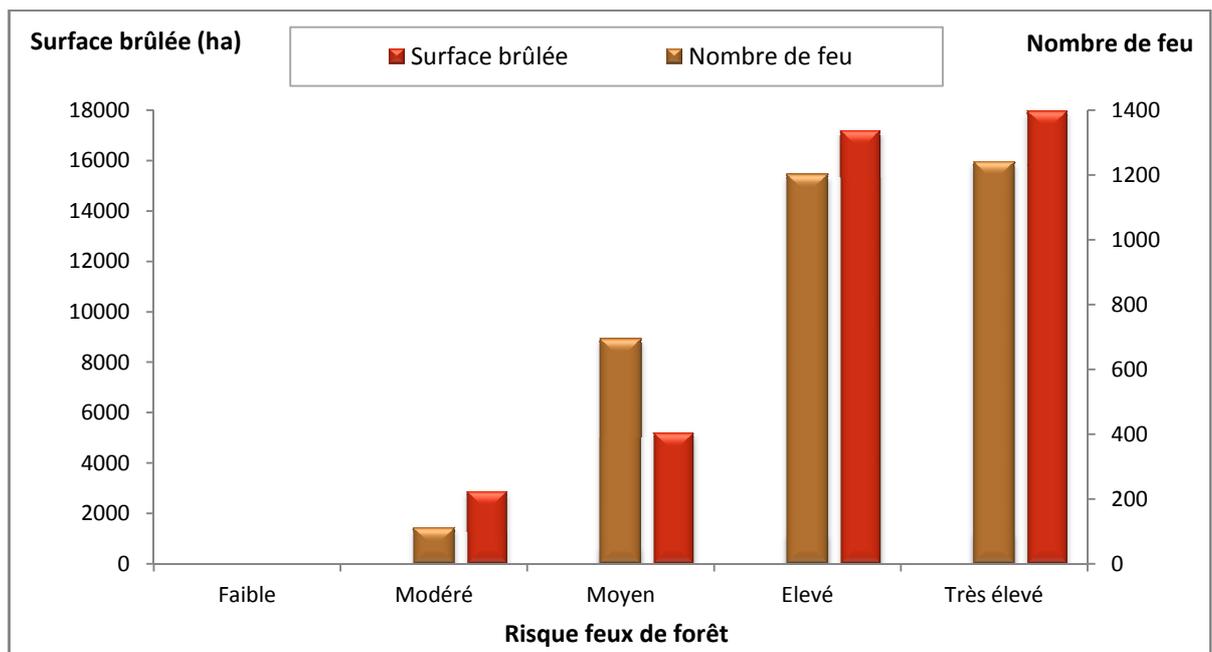
Les résultats montrent que plus de 64% des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf présentent un risque feux de forêts élevé et très élevé, avec respectivement 39% et 25%. Les zones à risque faible ne représentent que 0,04% et 7% pour les zones à risque modéré (Tableau 20).

**Tableau 20.** Classes de risque feux de forêts des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf.

Classes de risque feux de forêts	Surface forestière (ha)	Surface forestière (%)
Faible	58,34	00,04
Modéré	12.344,86	07,71
Moyen	43.905,12	27,42
Élevé	62.927,79	39,30
Très élevé	40.866,07	25,53

Les zones à risque très élevé sont localisées, essentiellement, au niveau des massifs forestiers à forte densité, composés d'essences très combustibles et proches des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture qui longent les pistes forestières (Carte 24).

La validation des résultats de la carte de risque, estimée à partir de l'indice de risque feux de forêts IRF, passe par une comparaison entre les classes de risque et l'historique du nombre de feux déclarés entre 1985 et 2012 et leurs surfaces brûlées (Figure 89).



**Figure 89 :** Répartition du nombre de feux et des surfaces brûlées entre 1985 et 2012 suivant les classes de risque IRF.

Les résultats de la comparaison révèlent que les massifs forestiers à risque élevé et très élevé enregistrent 75% des feux et 81% des surfaces brûlées entre 1985 et 2012. A l'inverse, aucun feu n'a été signalé au niveau des zones à risque faible. Pour les zones à risque modéré, seulement 3% des feux ont été enregistrés avec un taux de surface brûlée égal à 7% (Figure 89).

Les résultats de cette comparaison confirment la fiabilité et la précision de la carte du risque feux de forêts. Cette carte constitue un outil important pour les gestionnaires et les décideurs dans le cadre de la prévention, la lutte et la gestion des feux de forêts au niveau des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf. Elle permet également l'évaluation de l'efficacité du réseau de défense des forêts contre les incendies DFCI.

#### **IV.3.4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt**

L'efficacité du réseau DFCI composé de pistes forestières, de tranchées pare-feu, de points d'eau et de tours de guet a été analysé à l'aide de l'indice de risque feux de forêts IRF.

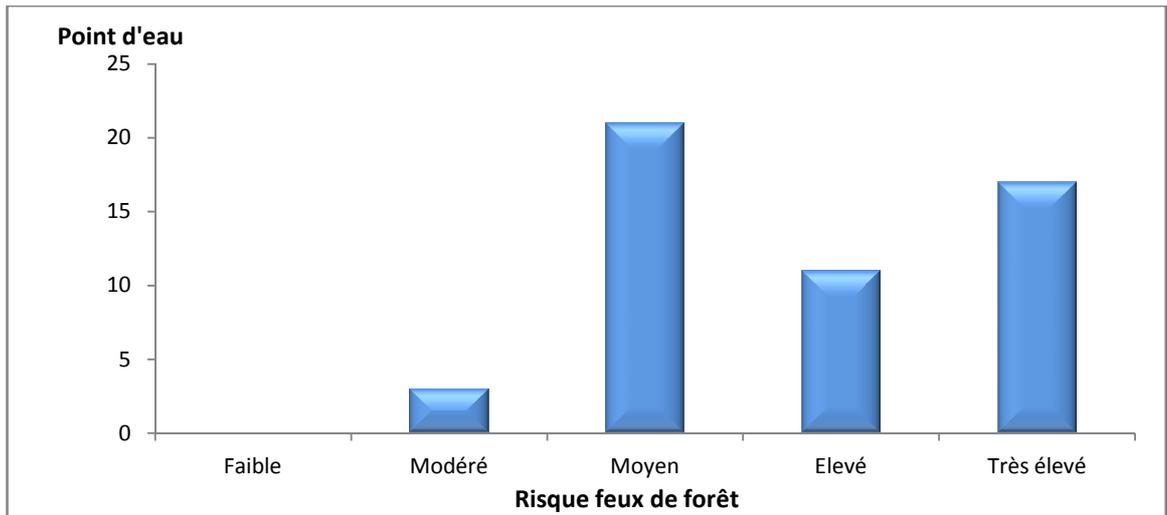
##### **IV.3.4.1. Analyse de l'efficacité des points d'eau face au risque feu de forêt**

On dénombre 73 points d'eau aménagés par l'administration forestière à travers les massifs de la wilaya d'El Tarf. Seuls 52 points d'eau sont localisés à l'intérieur des forêts, les 21 restants sont situés à proximité des massifs forestiers. L'efficacité des points d'eau dépend essentiellement de leurs localisations par rapport aux zones à risque élevé et très élevé de feux de forêts.

Sur les 52 points d'eau, localisés à l'intérieur des forêts, les zones à risque élevé et très élevé totalisent 28, avec respectivement 11 et 17 points d'eau, alors que les zones à risque moyen disposent de 21 points d'eau (Figure 90).

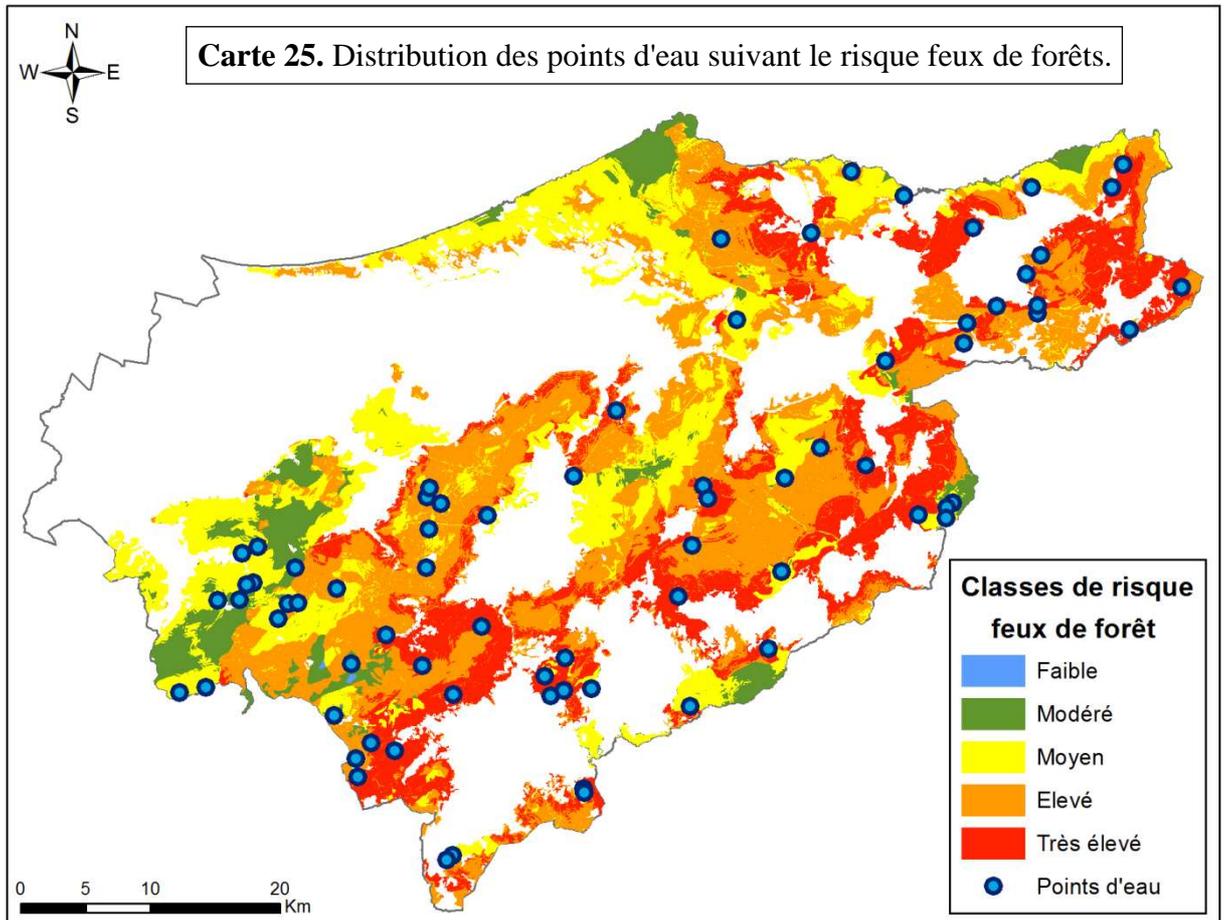
Cependant, si on compte les points d'eau situés à moins de 100 m des zones à risque élevé et très élevé leur nombre passe de 28 à 50, dont :

- ✓ 20 points d'eau avec une capacité de stockage de 15 m<sup>3</sup> ;
- ✓ 29 points d'eau avec une capacité de stockage de 18 m<sup>3</sup> ;
- ✓ 01 point d'eau avec une capacité de stockage de 36 m<sup>3</sup>.



**Figure 90** : Répartition des points d'eau suivant les classes de risque feux de forêts.

Ces résultats montrent que la distribution spatiale des points d'eau couvre d'importantes zones présentant un risque élevé et très élevé de feux de forêts (Carte 25). Ceci traduit une efficacité accrue de l'utilisation des points d'eau lors de la lutte contre les feux de forêts, à condition bien sûr que le temps d'intervention sur les départs de feux soit très court.

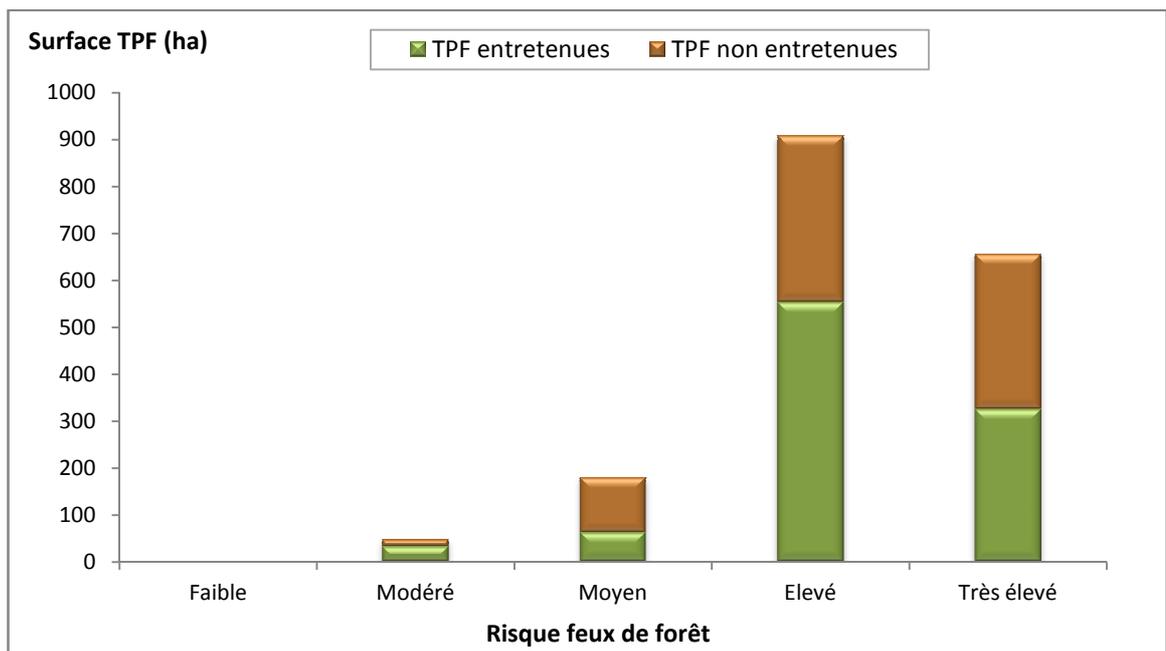


#### IV.3.4.2. Analyse de l'efficacité des tranchées par feu (TPF) face au risque feu de forêt

Les massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf sont sillonnés par plusieurs TPF, généralement installées perpendiculairement aux vents dominants. Elles doivent être toujours maintenues débroussaillées pour limiter la propagation des feux de forêts.

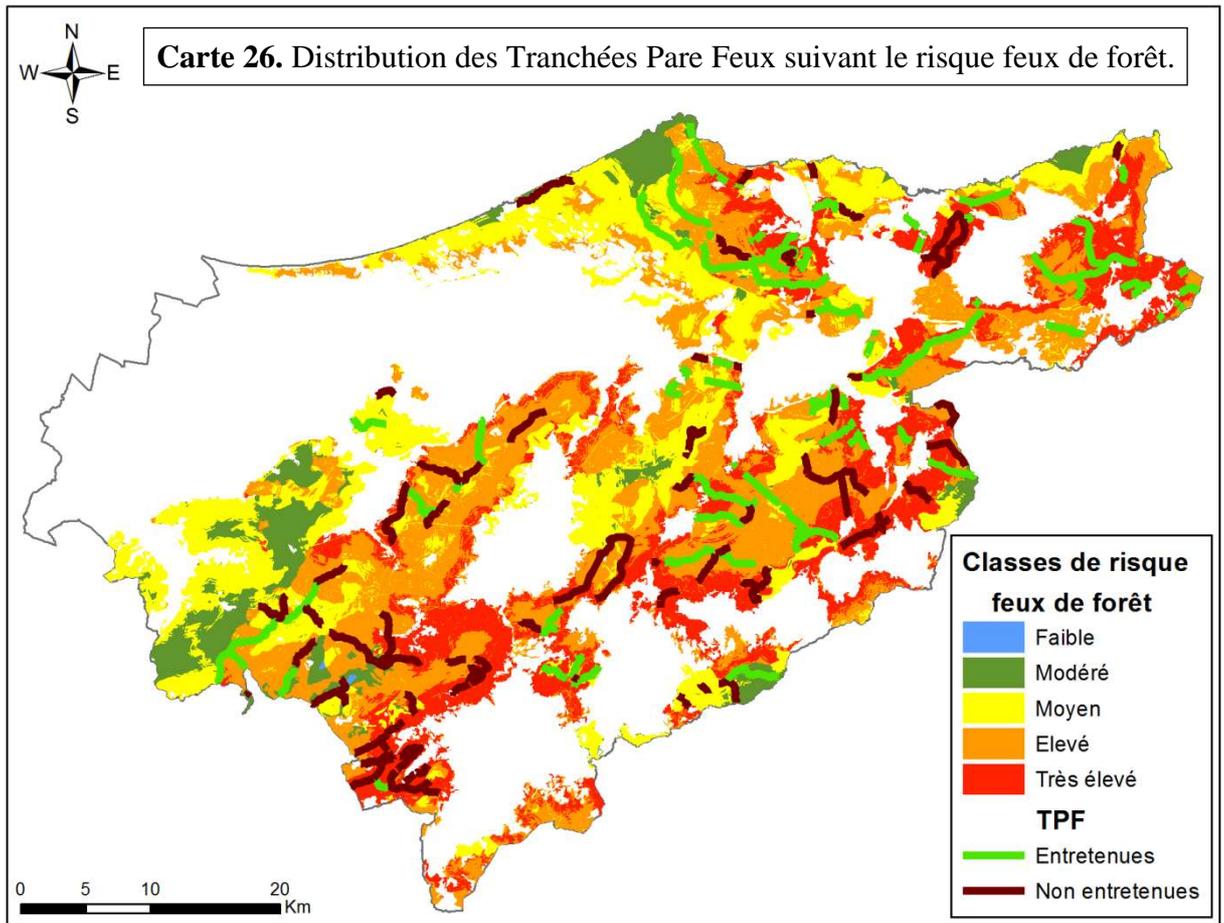
Avec un volume total de 1.791,35 ha, le volume moyen de TPF est de 1,11 ha pour 100 ha de forêt. Même si le volume des TPF est insuffisant, eu regard des normes établies pour la forêt algérienne, qui font état de 2,5 ha de TPF pour 100 ha de forêt, leur localisation concerne plutôt les massifs forestiers à risque feu de forêts élevé et très élevé, avec respectivement 51% et 37% (Figure 91).

Cependant, 39% du volume de TPF pour les zones à risque élevé et 50% pour les zones à risque très élevé ne sont pas entretenues.



**Figure 91** : Répartition des tranchées pare feu suivant les classes de risque feu de forêts.

Ces résultats montrent que, même si la distribution spatiale des tranchées pare feu couvre d'importantes zones présentant un risque élevé et très élevé de feux de forêts, leur efficacité est très réduite en raison du manque d'entretien, qui non seulement favorise la propagation du feu mais également peut être une source de départ de feux (Carte 26).



#### IV.3.4.3. Analyse de l'efficacité des tours de guet face au risque feu de forêt

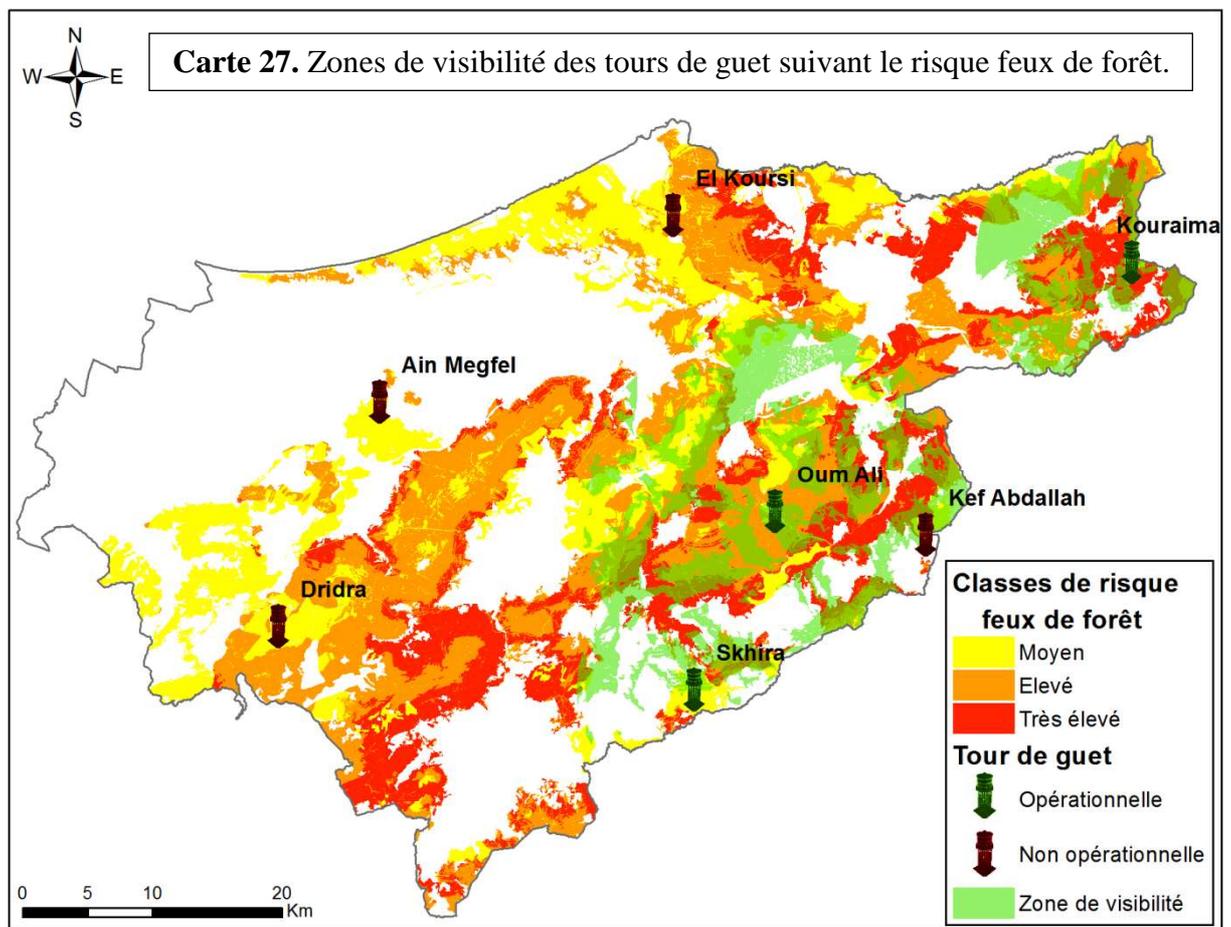
Ces miradors sont installés sur les points culminants dominants les massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf. Actuellement, 3 tours de guet sur les 7 disponibles sont opérationnelles, il s'agit des tours de guet d'Oum Ali (commune d'El Tarf), de Kouraima (commune d'El Aioun) et de Skhira (commune d'Ain Kerma). Celles de Kef Abdallah (commune de Bougous), El Koursi (commune d'El Kala), Ain Megfel (commune de Ben M'hidi) et Dridra (commune de Chihani) sont dégradées ou carrément détruites.

Les tours de guet sont conçues pour la prévention et la détection des feux de forêts, elles sont équipées de carte de localisation forestière, d'une radio de transmission liée à la base (salle radio) et de paires de jumelles pour l'observation.

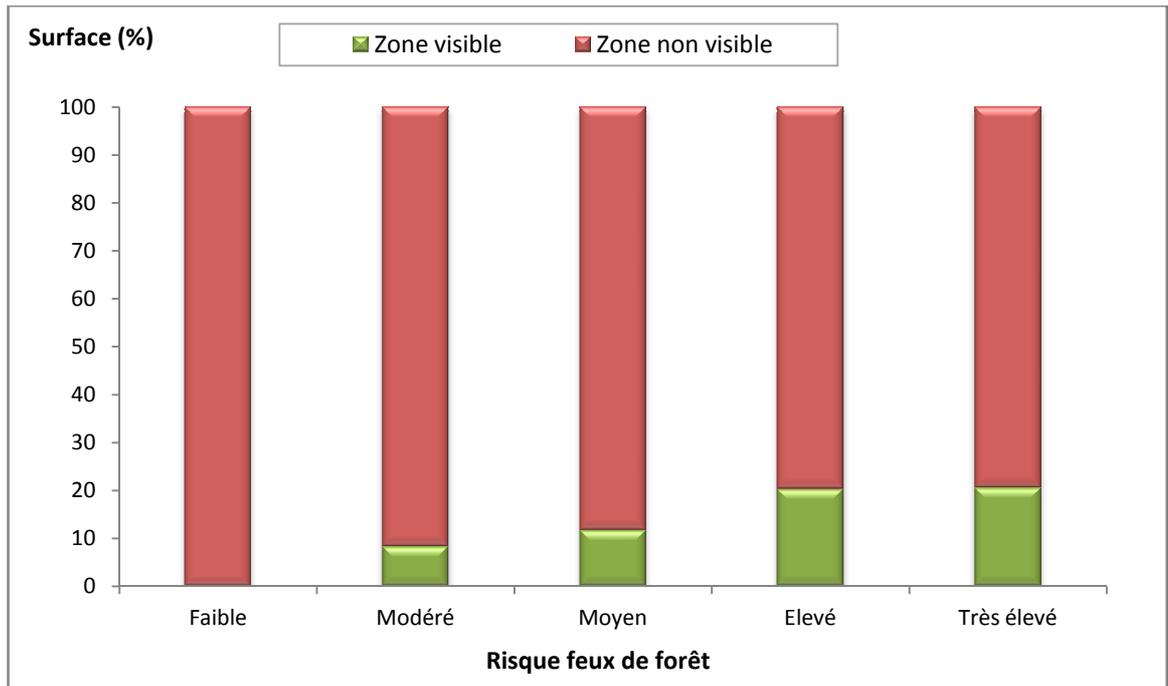
Chaque année, dès l'ouverture de la campagne de lutte contre les feux de forêts, les gardiens de vigie sont installés sur les tours de guet, ils ont le rôle de localiser et de signaler

les éclosions de feux. Les brigades d'intervention sont dirigées avec précision sur les lieux grâce aux indications des tours de guet.

Le champ de visibilité des 3 tours de guet opérationnelles a été calculé, puis superposé aux zones à risque feux de forêts (Carte 27). Pour des raisons de plus grande lisibilité de la carte, les niveaux de risque faible et modéré n'ont pas été affichés.



La surface visible des massifs forestiers à partir des 3 tours de guet à été calculée pour chaque classe de risque (Figure 92). On constate que, même si le pourcentage des zones visibles est plus important pour les classes de risque élevé et très élevé, avec des valeurs autour de 20% contre 11% et 8% pour les classes de risque moyen et modéré, globalement le taux de couverture des tours de guet opérationnelles est très insuffisant avec seulement 17%.



**Figure 92 :** Pourcentage de visibilité des tours de guet des classes de risque feux de forêts.

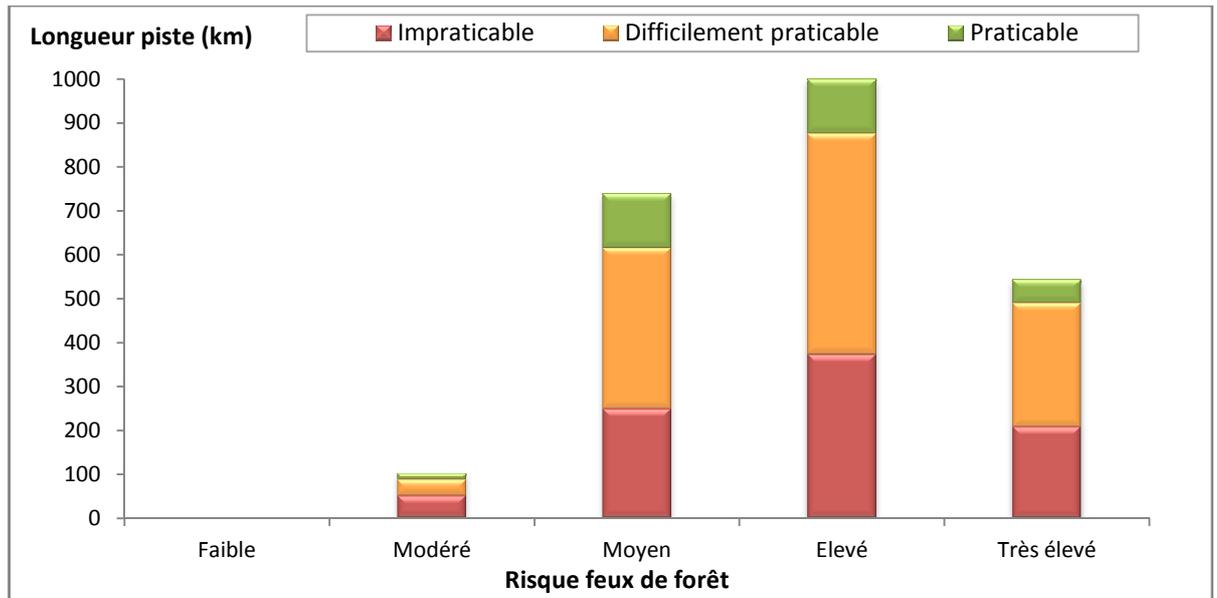
Ces résultats montrent l'inefficacité du réseau de surveillance des feux de forêts à partir des tours de guet, notamment en raison du manque d'entretien et de rénovation de ces infrastructures, essentielles pour une détection rapide et précise des mises à feu.

#### IV.3.4.4. Analyse de l'efficacité des pistes forestières face au risque feu de forêt

Actuellement les massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf, disposent d'un réseau de desserte assez dense avec 2.767 km de pistes forestières. Tout ce réseau est d'une grande importance pour la gestion des forêts (exploitation de bois – travaux sylvicoles – surveillance et intervention contre les feux).

Cependant, 35% des pistes forestières sont impraticables et 51% difficilement praticables. La longueur en fonction de l'état des pistes forestières a été calculée pour chaque classe de risque feux de forêts.

La distribution spatiale des pistes forestières montre que les zones exposées au risque élevé de feu de forêt sont desservies par un important réseau de pistes, suivi par les zones présentant un risque moyen et très élevé (Figure 93).



**Figure 93 :** Longueur et état des pistes forestières suivant les classes de risque feux de forêts.

Malheureusement, si on regarde l'état de ce réseau on se rend compte qu'il est, dans sa majeure partie, difficilement accessible voir inaccessible pour les moyens d'intervention et de lutte contre les feux de forêts. Ceci allonge considérablement le temps d'intervention et rend difficile la progression des véhicules d'interventions au plus près des zones à risque élevé et très élevé de feux de forêts. Le manque d'entretien et d'aménagement du réseau de pistes forestières, au niveau de la wilaya d'El Tarf, réduit fortement son efficacité face aux risques feux de forêts.

#### **IV.4. Propositions et recommandations pour une meilleure gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf**

Au terme de cette étude et à la lumière des résultats obtenus à travers les différentes analyses et requêtes spatiotemporelles sur les feux de forêts au niveau de la wilaya d'El Tarf, nous proposons ce qui suit :

- ✓ Vu la prédominance des mises à feu volontaires, seules les populations qui sont intégrées économiquement à la forêt ressentent la nécessité de la défendre, c'est pour cette raison que la population rurale doit être intégrée à l'économie forestière ;
- ✓ Ne pas interdire le pâturage en forêt, mais plutôt le contrôler car il permet non seulement d'obtenir un rendement économique important pour les éleveurs mais également, de nettoyer les zones à forte densité de sous-bois très inflammable durant la saison sèche ;

- ✓ Pour les populations rurales habitantes à proximité des zones boisées, il serait intéressant de les sensibiliser à l'apport financier que pourrait rapporter les produits forestiers autre que le bois et le pâturage, comme par exemple les champignons, les plantes aromatiques et médicinales, etc., ce qui rendra la conservation de la forêt économiquement attrayante ;
- ✓ La rénovation des tours de guet dégradées et la reconstruction de celles détruites, permettra d'atteindre un taux de couverture des massifs forestiers de 34% au lieu des 17% actuel. Ceci augmentera la rapidité de détection et d'intervention sur les feux naissants, causant ainsi moins de dégât au patrimoine forestier ;
- ✓ Augmentation de la surveillance mobile dans les zones non couvertes par le réseau de tours de guet, avec une densité minimum d'un surveillant pour 3000 ha à protéger ;
- ✓ Les tranchées pare-feu doivent être entretenues annuellement, les éleveurs doivent être associés à l'entretien de ces dernières en faisant paître leurs bétails. Il est préférable de ne pas réaliser des tranchées pare-feu que de les faire et ne pas les entretenir, car une végétation pyrophyte s'y développe, favorisant le déclenchement des feux de forêts ;
- ✓ Les pistes forestières sont une arme à double tranchant car si elles permettent l'accès aux moyens de luttés contre les feux de forêts, elles facilitent également l'accès aux incendiaires, d'autant plus, que la majorité du réseau est en mauvais état, ce qui le rend impraticable pour les véhicules d'intervention mais facile d'accès pour les populations rurales et leurs bétails ;
- ✓ Renforcer la prise en compte du risque feux de forêts dans les programmes d'aménagement et de gestion des espaces, en particulier dans les interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture, en hiérarchisant les enjeux économiques, environnementaux et sociaux ;
- ✓ Ouvrir le milieu forestier aux investissements privés non polluant et non dégradant (apiculture, plantation dans le vide labourable ...). Ceci aura un double objectif, celui de l'amélioration du revenu du riverain et celui de la protection du milieu forestier.
- ✓ Mettre à jour régulièrement la base de données géographique feux de forêts, afin d'avoir des données précises lors des analyses et des requêtes pour une meilleure prise de décision, essentielle à une bonne gestion des feux de forêts.

*Conclusion*

*&*

*Perspectives*

## Conclusion & perspectives

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

Cette base de données géographique, ainsi créée va servir de support pour la prise de décision afin de faciliter la gestion et améliorer la prévention des feux de forêts au niveau de la wilaya d'El Tarf.

Une étude spatiotemporelle détaillée des départs de feu de forêt, a été réalisée en se basant sur des méthodes scientifiques utilisant les nouvelles technologies des systèmes d'information géographique et de l'imagerie satellitaire. De plus, une typologie des feux et une cartographie du risque ont également été réalisées.

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

- ▶ les zones de faible altitude sont plus touchées par les feux de forêts que les régions montagnardes ;
- ▶ les collines et piedmonts, qui constituent des zones d'interfaces forêt/agriculture et forêt/habitat rural, sont les plus touchés par les feux de forêts ;
- ▶ les feux sont plus nombreux, avec une surface brûlée plus importante, au niveau des versants nord humides et frais que sur les versants sud secs et chauds ;
- ▶ les forêts de chêne liège sont celles qui payent le plus lourd tribut face aux feux ;
- ▶ la température, l'humidité de l'air et la vitesse du vent ne sont pas des facteurs de déclenchement des feux, mais plutôt des facteurs favorisant la propagation de ces derniers ;
- ▶ la proximité des fermes et maisons rurales augmente le risque de départ de feu ;
- ▶ le réseau de pistes forestières censé faciliter l'accès en cas d'incendie, devient le plus souvent une source de mise à feu.
- ▶ les tranchées pare-feu mal entretenues (inefficaces face à la propagation du feu) représentent une source de départ de feu ;

- ▶ le taux de couverture des tours de guet opérationnelles est très insuffisant avec seulement 17% des massifs forestiers ;
- ▶ Les zones à risque très élevé sont localisées, essentiellement, au niveau des massifs forestiers à forte densité, composés d'essences très combustibles et proches des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture qui longent les pistes forestières.

Il ressort que les besoins actuellement prépondérants en matière de Systèmes d'Information Géographique et de télédétection sont liés à l'aménagement des forêts contre les feux. Ces besoins existent à une échelle locale et régionale.

Les Systèmes d'Information Géographique et l'imagerie satellitaire, vont trouver en Algérie leurs applications dans le domaine de la protection des forêts contre les feux. Le fait de s'intéresser à ces techniques donne l'occasion d'aborder des questions d'une façon plus pressante et systématique. Il est certain qu'à moyen terme, ces investissements vont générer des profits qui se traduiront par une réduction des dégâts causés par les feux de forêts, et une meilleure protection et gestion des ressources naturelles.

La base de données géographique produite au cours de cette étude, constituera un outil extrêmement utile pour les gestionnaires et les décideurs d'aménagement contre les feux de forêts. Elle servira de support également pour tout autre type de projet, comme l'aménagement forestier, la sylviculture, l'exploitation forestière, etc.

Comme perspectives à cette étude, il serait intéressant de :

- ✓ élargir la base de données géographique relative aux départs de feu de forêt à l'ensemble des 39 wilayas restantes pour obtenir une localisation spatiotemporelle des feux à l'échelle nationale. Cela permettra de comparer les différentes wilayas, en prenant en compte la particularité de chacune d'elles ;
- ✓ intégrer avec l'indice de risque feu de forêt IRF un indice forêt/météo basé sur les données des stations et postes météorologiques afin de prévoir le risque journalier d'éclosion et de propagation du feu ;
- ✓ réaliser par télédétection un suivi de la capacité de régénération des massifs forestiers après feu.

En outre, lutter contre les feux de forêts est une chose appréciable, les prévenir l'est davantage.

*Références*  
*Bibliographiques*

## Références bibliographiques

### A

- Alexandrian D.**, 1982. Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation. CEMAGREF, BI n° 228, pp. 31-39.
- Alexandrian D.** et **Gourian M.**, 1990. « Les causes d'incendies : levons le voile », Revue forestière française, n° spécial : espaces forestiers et incendies, pp. 33-41.
- Alexandrian D.** et **Rigolot E.**, 1992. Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. Forêt méditerranéenne, T.13, N°3 : pp. 185-197.
- Alexandrian D.** et **Esnault F.**, 1998. Politiques nationales ayant une incidence sur les incendies de forêt dans le Bassin Méditerranéen. Réunion FAO, 28-30 oct. 1998, Rome, 15 p.
- Alexandrian D.**, **Esnault F.** et **Calabri G.**, 1999. Feux de forêts dans la région méditerranéenne. Analyse des tendances des feux de forêt en Méditerranée et des causes sous-jacentes liées aux politiques. Unasylva, 197 (50) : pp. 35-41.
- Alexandrian D.**, 2008. Les statistiques "feux de forêt" de ces trente dernières années. Forêt méditerranéenne t. XXIX, n°4, pp. 377-384.
- Altobellis A.**, 1993. A survey of rural population density and forest fire occurrence in the South, 1956-1970. Report S0-294. New Orleans, Southern Forest Experimental Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 4 p.
- Aouadi H.**, 1989. La végétation de l'Algérie Nord orientale : histoire des influences anthropiques et cartographie à 1/200.000. Thèse Doct., Univ. Joseph Fourier, Grenoble I, 108 p.
- Arfa A.M.T.**, 2008. Les incendies de forêt en Algérie : stratégies de prévention et plans de gestion. Thèse Magistère en Ecologie et Environnement, Option Gestion et pathologie des écosystèmes forestiers, Université Mentouri Constantine, Algérie, 132 p.
- Arfa A.M.T.**, **Benderradji M.E.H.**, et **Alatou D.**, 2009. Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006. Revue New Médit Vol. VIII-n. 1/2009. C.I.H.E.A.M. IAM, Bari, Italy pp. 46-51.

**Assali F.** et **Rachdi S.**, 2005. Incendies de forêts au Maroc : situation actuelle, enseignements dégagés et perspectives d'avenir. Communication 1.4 au Forum régional "Secteur forestier et développement durable en Méditerranée : défis, politiques et gouvernance", Plan Bleu. 12 p.

## **B**

**Barber J.R.**, 1987. Remote sensing techniques for monitoring and mapping moisture content of grassland vegetation in Victoria to indicate statewide fuel flammability. In Symp. Computer modelling and remote sensing in relation to bushfires in Australia. 3-4 June, 1987. Canberra.

**Barbier P.**, 1994. Conception d'un outil logiciel d'aide à la décision dédié à la défense des forêts contre les incendies : Rapport de stage DEA des sciences de l'information géographique. Edition Marne-la-Vallée : ENSG, 1994 Collation, 80 p.

**Belhadj-Aissa M.**, **Belhadj-Aissa A.** et **Smara Y.**, 2003. Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux en Algérie. 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, décembre 2-5, 16 p.

**Ben Jamaa M.E.H.** et **Abdelmoula K.**, 2004. Les feux de forêts dans la subéraie tunisienne. Colloque Vivexpo : le chêne liège face au feu. Perpignan.

**Benderradji M.E.H.**, **Alatou D.**, et **Tir K.**, 1999. Les interférences entre le climat et la végétation dans l'extrême Nord-Est algérien : essais d'expression cartographique au 1/200.000. Revue Médit, Vol 10, n° 3, (Septembre 1999), pp. 55-59.

**Benderradji M.E.H.**, 2000. Les Milieux humides de l'extrême Nord-Est algérien de Guerbes aux confins Algéro-Tunisiens : écogéographie et aménagement. Thèse de doctorat d'état, Université Mentouri Constantine, Algérie, 497 p.

**Benderradji M.E.H.**, **Alatou D.**, et **Arfa A.M.T.**, 2004. Bilan des incendies de forêts dans le Nord-Est algérien : Cas de Skikda, Annaba et El Tarf période 1990-2000. Forêt Méditerranéenne T. XXV, n° 3 : pp. 211-218.

**Bernard M.L.** et **Bernard L.G.**, 2007. Correlation between wildfire statistical data, weather and climate. American Meteorological Society and AMS Committee on Agricultural and Forest Meteorology, Seventh Symposium on Fire and Forest Meteorology. Bar Harbor, Maine, 23-25 October 2007.

**Bertrand A.L.** et **Baird A.W.**, 1975. Incendiarism in Southern Forest: a decade of sociological research. Southern. For. Exp. Stat. Social Science Research Center at Mississippi University. Bulletin n° 838. Forest Service. U.S. Department of Agriculture. 40 p.

**Blanchi R.**, **Jappiot M.** et **Alexandrian D.**, 2002. Forest Fire risk assessment and cartography. A methodological approach. Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research - 18 au 22 November 2002, Luso (Portugal).

**B.N.E.D.E.R.**, 2007. Etude d'inventaire forestier national : Rapport sur la caractérisation des formations forestières de la wilaya d'El Tarf. Direction Générale des Forêts, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 26 p.

**Bouaninba D.**, 2010. SIG et imageries satellitaires pour la cartographie du risque d'incendie de forêt : cas de la forêt domaniale de Chettabah, Constantine. Mémoire d'Ingénieur d'État en Écologie, Gestion des ressources forestières, Université Mentouri Constantine, Algérie, 46 p.

**Boudy P.**, 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. La maison rustique, Paris, 487 p.

**Bouillé F.**, 1978. Structuring cartographic data and spatial processes with the hypergraph-based data structure. In Geoffrey Dutton (ed.) First International Symposium on Topological Data Structures for GIS. Cambridge, Massachusetts: Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University

**Burgan R.E.**, **Klaver R.W.** et **Klaver J.M.**, 1998. Fuel models and fire potential from satellite and observations. International Journal of Wildland Fire, n°8, pp. 159-170.

## C

**Caballero D.**, **Beltrán I.** et **Velasco A.**, 2007. Forest fires and wildland-urban interface in Spain: types and risk distribution. In Proceedings of the "IV International Wildland Fire Conference", May 13-17, 2004, Seville, Spain.

**Calle A.**, **Casanova J.L.**, **Romo A.** et **Gonzalez-Alonso F.**, 1999. An operational system for the forest fire risk assessment by means of NOAA images. Source 19<sup>TH</sup> EARSEL Symposium on Remote Sensing in the 21<sup>ST</sup> Century, Valladolid (Spain), 31 May - 2 June, pp. 363-368.

**Camia A.**, **Varela V.**, **Marzano R.** et **Eftichidis G.**, 2003. Spatial analysis in European Wildland-Urban Interface environments using GIS. Department of Agronomy, Forest and Land Management, University of Turin, Italy. pp. 185-196.

- Cardille J.A., Stephen J., Ventura S.J. et Turner M.G.,** 2001. Environmental and social factors influencing wildfires in the upper Midwest, United States. *Ecological Applications*, 11 (1), pp. 111-127.
- Carrega P., Geronimo N.,** 2007. Risque météorologique d'incendie de forêt et méthodes de spatialisation pour une cartographie à fine échelle. Actes du XXème colloque international de l'AIC. Tunis, sept. 2007. pp. 168- 173.
- CEMAGREF,** 1990. Division Technique Forestière Méditerranéenne. Protection des forêts contre les incendies, guide technique du forestier méditerranéen français. Fiche n°5 : Inflammabilité et combustibilité.
- Chen K., Blond R. et Jacobson C.,** 2003. Towards an integrated approach to natural hazards risk assessment using GIS with reference to bushfires. *Environmental Management* 31, 4: pp. 546-560.
- Chevrou R.B.,** 1993. La défense des forêts contre les incendies et l'informatique analyse stratégique de l'espace. *Forêt médit.* T.14, N°2 : pp. 163-172.
- Chevrou R.B.,** 1994. Systèmes d'information géographique et modèles feu : aide à la décision pour la conception et l'implantation des infrastructures de prévention et de défense des forêts contre les incendies (D.F.C.I.). *Foresterranée* 93. Groupe Feux de forêt et habitat, T. XV, n°2, pp. 223-224.
- Christiansen J. et Folkman W.,** 1971. Characteristics of people who start fires...some preliminary findings. Berkeley, Cal., Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Research Note PSW-251. Forest Service. U.S. Department of Agriculture. 5 p.
- Chuvienco E. et Congalton R.G.,** 1989. Application of remote sensing and GIS to forest fire hazard mapping. *Rem. Sens. Environ.*, 29, pp. 147-159.
- Chuvienco E. et Martin M.P.,** 1994. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 563-570.
- Chuvienco E., Salas F.J., Carvacho L. et Rodríguez-Silva F.,** 1999. Integrated fire risk mapping. In Chuvienco E. (ed.) *Remote Sensing of Large Wildfire in the European Mediterranean Basin*. Berlin. Springer-Verlag, pp. 61-84.

**Chuvieco E., Aguado I., Jurdao S., Pettinari M.L., Yebra M., Salas J., Hantson S., de la Riva J., Ibarra P., Rodrigues M., Echeverria M., Azqueta D., Roman M.V., Bastarrika A., Martinez S., Recondo C., Zapico E. et Martinez-Vega F.J., 2012.** Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*. 14 p.

**Cole L.W. et Kaufman H.F., 1963.** Socio-economic factors and forest fire in Mississippi counties. Preliminary Report 14. Mississippi. USA: Mississippi State University Social Sciences Research Centre, 68 p.

## D

**Dagorne A., Duche Y., Foucault B. et Ottavi J.Y., 1995.** De l'affichage du « risque feu de forêts » à la mise en œuvre d'un plan de zones sensibles aux incendies de forêts à Auribeau-sur-Siagne (Alpes-Maritimes). De la simulation à la modélisation grâce au système d'information géographique. *Forêt Méditerranéenne*, XVI, 2: pp. 153-158.

**Darwich T., Assaker A., Faour G., Noun M., Poupet P. et Harfouche R., 2015.** Utilisation de la télédétection et des techniques SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques de feux de forêts dans le bassin versant du Nahr Ibrahim. In book: *Du Mont Liban aux Sierras d'Espagne Sols, eau et sociétés en montagne*, Edition: 2015, Chapter: 10, Publisher: Archaeopress Publishing Ltd, Editors: Romana Harfouche et Pierre Poupet, pp.137-146.

**Dauriac F., 2004.** Suivi multi-échelle par télédétection et spectroscopie de l'état hydrique de la végétation méditerranéenne pour la prévention du risque de feu de forêt. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau, Unité Mixte de Recherche Cemagref - ENGREF "structures et systèmes Spatiaux", Montpellier, 221 p.

**Delabrazé P., Valette J.-C., 1974.** Inflammabilité et combustibilité de la végétation forestière méditerranéenne. *Revue forestière française*, n° spécial, pp. 171-177.

**Desbois N. et Vine P., 1997.** Télédétection et incendies de forêt en zone méditerranéenne. *Dossiers de l'Agronomie, Télédétection Thérapies et médicaments*. Cercles des élèves de l'Institut National d'agronomie, Paris, Office National des Forêt, pp.12-17.

**Deshayes M., Chuvieco E., Cocero D., Karteris M., Koutsias N. et Stach N., 1998.** Evaluation of different NOAA-AVHRR derived indices for fuel moisture content estimation: interest for short term fire risk assessment. In *III International Conference on Forest Fire Research and 14<sup>th</sup> Conference on Fire and Forest Meteorology*. Coimbra, Portugal, pp. 1149-1167.

**Deshayes M. et Jappiot M.**, 2004. Evaluation spatio-temporelle du risque feux de forêt : de nouvelles données de télédétection prometteuses. *Rendez-Vous-Techniques* N°4. Office National des Forêts, pp. 25-29.

**D.G.F.**, 2004. Direction Générale des Forêts. Programme d'Action National sur la lutte contre la Désertification, 104 p.

**Di Mauro C. et Bouchon S.**, 2006. Les cartes régionales de vulnérabilité, outils de réflexion et supports d'aide à la décision : le cas de la région Piémont et de la province de Varèse, In *Responsabilité et Environnement*, Annales des Mines, N°43, Juillet 2006, pp. 26-31.

**Doat J., Valette J.C.**, 1981. Le pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes. *Ann. Sci. Forest.*, 38 : pp. 469-486.

## E

**Emberger L.**, 1936. Remarque critique sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines. *Bull. Soc. Bot. Suisse*, 46 pp. 614-631.

**EU Commission.**, 2011. Forest fires in Europe 2010. EUR 24910 EN. Luxembourg, Publication Office of the European Union.

## F

**Faleh A., Lakhouaja H., Sadiki A. et Chaaouan J.**, 2012. SIG, télédétection et évaluation de risque d'incendie de forêts «exemple du massif forestier Khezana (Province de Chaouene)». *Papeles de Geografía*, 2012, 55-56, Universidad de Murcia, España pp. 37-48.

**F.A.O.**, 2006a. Global forest resources assessment 2005: report on fires in the Mediterranean region. Fire Management Working Paper 8. Rome.

**F.A.O.**, 2006b. Global Forest Resources Assessment 2005 – Report on fires in the Balkan Region. Fire Management Working Paper 11. Rome.

**F.A.O.**, 2007. Fire management global assessment 2006. Thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Rome.

**F.A.O.**, 2010. Global forest resources assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome.

**F.A.O.**, 2013. State of Mediterranean forests 2013. Main report. FAO Forestry Paper No. 197. Rome.

**Faour G., Boukheir R. et Darwish A.**, 2005. Méthode globale d'évaluation du risque d'incendies de forêt utilisant la télédétection et les SIG : cas du Liban. *Télédétection*, vol. 5, n°4, pp. 359-377.

**Flatley W.T., Lafon C.W. et Grissino-Mayer H.D.**, 2011. Climatic and topographic controls on patterns of fire in the southern and central Appalachian Mountains, USA. *Landscape Ecol.* 26: pp. 195–209.

## G

**Gabban A., San-Miguel-Ayanz J. et Viegas D.X.**, 2008. Assessment of forest fire risk in European Mediterranean region: Comparison of satellite-derived and meteorological indices. JRC Scientific and Technical Reports, 142 p.

**Good P., Moriondo M., Giannakopoulos C. et Bindi M.**, 2008. The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies. *International Journal of Wildland Fire*, 17: pp. 155-165.

**Guerbah Y.A.**, 1992. L'occurrence des feux de forêts dans la wilaya d'El-Tarf : Causes originelles et prévention. *Mém. Ing. d'état en écologie. univ. Constantine*, 90 p.

**Guettouche M.S., Derias A., Boutiba M., Bounif M., Guendouz M. et Boudella A.**, 2011. A fire risk modelling and spatialization by GIS. *Journal of Geographic Information System*, Vol. 3 N°3: pp. 254-265.

## H

**Hachemi M.A.**, 2014. Apport de la géomatique dans la protection des forêts contre les incendies (cas la forêt Fenouane Ain el Hdjar, Saida). *Mémoire Master en Ecologie et Environnement, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen*, 82 p.

**Hadjikyriakou G.**, 2000. The Forest Fire Situation in Cyprus. *Int. Forest Fire News* 23, pp. 71-76.

**Hansbrough T.**, 1961. A sociological analysis of man-caused forest fires in Louisiana. Baton Rouge, Louisiana State University. Ph.D. Thesis. 297 p.

**Hernando L., Moro C. et Valette J.C.**, 1994. Flammability parameters and calorific values of Erica arborea and Arbutus unedo. Second International Conference on Forest Fire Research, Coimbra (Portugal) ; November 21st - 24th ; pp. 481-490.

**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 en Géographie Physique, Université Joseph Fourier. 376 p.

## I

**Illera P., Fernandez A., Calle A. et Casanova J.L.**, 1996. Evaluation of forest fires danger in Spain by means of NOAA AVHRR images. Earsel Advances in Remote Sensing, vol. 4, No. 4-XI, pp. 33-43.

## J

**Jappiot M.**, 1998. Évaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt. Vers une application sur le massif des Maures à l'échelle des PPR. Ingénieries EAT, n°spécial, Risques naturels, CEMAGREF. pp. 105-114.

**Jappiot M., Blanchi R. et Alexandrian D.**, 2003. Cartographie du risque d'incendie de forêt : besoins, méthodes et données. Essai de normalisation. Forêt Méditerranéenne t. XXIV, n° 4, décembre 2003, pp. 427-434.

**Jin H.**, 2010. Drivers of global wildfires - statistical analyses. Seminar series nr 175. Master degree thesis, Department of Earth and Ecosystem Sciences, Lund University, Sweden. 101 p.

## K

**Karlikowski T., Dabrowska-Zielinka K., Zawila-Niedzwiecki T., Gruszczynska M., Santorski Z., Sakowska H., Janowska M.**, 1997. The use of NOAA-AVHRR images for forest fire risk forecast. Proc. Of the Forest Research institute in Warsaw N°829, 72 p.

**Kaufman Y.J., Justice C.O. et Setzer A.W.**, 1998. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. Journal of Geophysical Research, 103, pp. 3221-3225.

**Kebir L. et Abbas M.**, 2011. Apport de l'imagerie Alsat-2A, pour l'identification, la gestion des aménagements forestiers et le suivi des incendies de forêts en Algérie (Cas de la wilaya de Tlemcen). Atelier « ALSAT-2A- Utilisateurs » Alger 25-26 avril 2011.

**Khader M., Benabdeli K., Mederbal K., Fekir Y., Gueddim R. et Mekkous B., 2009.** Etude du risque incendie à l'aide de la géomatique : cas de la forêt de Nesmoth (Algérie). *Mediterranea Serie de Estudios Biológicos. Época II N° 20* : pp. 10-38.

**Koulelis P. et Mitsopoulos L., 2009.** A study of the socioeconomic factors influencing wildfire occurrence in Mediterranean basin countries. In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Common Problems and Approaches*. General Technical Report PSW-GTR-227: pp. 314-320.

**Kourtz P., 1977.** An application of LANDSAT digital technology to forest fire fuel type mapping. In *Canadian symposium on remote sensing, Vol. 2*, pp. 1111-1115.

## L

**Lampin-Maillet C., 2009.** Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie : Le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France. Thèse de Doctorat en Géographie de l'Université de Provence, France: 300 p.

**Leone V., 1990.** Causes socio-économiques des incendies de forêts dans la région de Bari (Pouilles, Italie). *Revue Forestière Française, XLII, n° spécial* : pp. 332-336.

**Leone V., Lovreglio R., Martinez Fernandez J., 2002.** Forest fires and anthropic influences: a study case (Gargano National Park, Italy). *Forest fire research and wildland fire safety* (Viegas DX ed.) Rotterdam: Millipress, pp. 11-28.

**Leone V., Koutsias N., Martínez J., Vega-García C., Allgöwer B. et Lovreglio R., 2003.** The human factor in fire danger assessment. In: Chuvieco E. (Ed.), *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. The Role of Remote Sensing Data*. World Scientific Publishing, Singapore, pp. 143-196.

**Leone V., Lovreglio L., Pilar Martín M., Martínez J., Vilar L., 2009.** Human factors of fire occurrence in the Mediterranean. In: E. Chuvieco (Ed.) *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 149-170.

**Lili Chabaane Z., Chakroun H., Guidara H., Bargaoui H., Abdelmoula K., Khaldi A., Caloz R. et Boussema M.-R., 2008.** Télédétection et modélisation spatiale pour la cartographie des risques des feux de forêts dans le massif de Djebel Mansour en Tunisie. Les

XI<sup>ème</sup> Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUF 03 au 07 novembre 2008 Antananarivo (Madagascar) Télédétection et Gestion de l'Environnement.

**Littell J.S., Mckenzie D., Peterson D.L. et Westerling A.L.,** 2009. Climate and wildfire area burned in western U.S. ecoprovinces, 1916-2003. *Ecological Applications*, 19 (4): pp. 1003-1021.

**Long M., Ripert C., Piana C., Jappiot M., Lampin-Maillet C., Ganteaume A., Alexandrian D. et Rouch L.,** 2009. Amélioration de la connaissance des causes d'incendie de forêt et mise en place d'une base de données géoréférencées. *Forêt Méditerranéenne T. XXX*, n° 3 : pp. 224-229.

**López S., González F., Llop R. et Cuevas J.M.,** 1991. Evaluation of the utility of NOAA AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. In *International Journal of Remote Sensing*. Londres (GB): Taylor & Francis, pp. 1841-1851.

**Lovreglio R., Leone V., Giaquinto P. et Notarnicola A.,** 2010. Wildfire cause analysis: Four case-studies in southern Italy. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, vol. 3 : pp. 8-15.

**Lovreglio R., Marciano A., Patrone A., Leone V.,** 2012. Le motivazioni degli incendi boschivi in Italia: risultati preliminari di un'indagine pilota nelle Province a maggiore incidenza di incendi. *Forest@ 9*: pp. 137-147.

## M

**Madoui A.,** 2002. Les incendies de forêt en Algérie. Historique, bilan et analyse. *Forêt Méditerranéenne*, t. XXIII, 1: pp. 23-30.

**Maire R.,** 1926. Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Alger, Baconnier, 78 p.

**Mangiavillano A.,** 2008. Multi-scalarité du phénomène feu de forêt en région méditerranéenne française de 1973-2006. Thèse de Doctorat Géographie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 485 p.

**Martell D.L., Otukol S. et Stocks B.J.,** 1987. A logistic model for predicting daily people caused forest fire occurrence in Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* 17: pp. 394-401.

- Martínez J., Martínez Vega J. et Martín P.,** 2004. El factor humano en los incendios forestales: Análisis de factores socio-económicos relacionados con la incidencia de incendios forestales en España. In: Chuvieco, E., Martín, P. (Ed.): Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Madrid, CSIC, Instituto de Economía y Geografía, pp. 101-142.
- Martínez J., Vega-García C. et Chuvieco E.,** 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90: pp. 1241-1252.
- M.A.T.E.,** 2003. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, 465 p.
- M.A.T.E.,** 2010. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Etude du plan d'aménagement de la wilaya d'El Tarf, phases I : Etat des lieux – Diagnostic prospectif, 420 p.
- Meddour-Sahar O., Meddour R. et Derridj A.,** 2008. Les feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). Les Notes d'analyse du CIHEAM, n° 39, 11 p.
- Meddour-Sahar O. et Derridj A.,** 2012. Bilan des feux de forêts en Algérie : Analyse spatiotemporelle et cartographie du risque (période 1985-2010). *Sécheresse*; 23, (2): pp. 133-141.
- Meddour-Sahar O.,** 2014. Les feux de forêts en Algérie : Analyse du risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion. Thèse Doctorat en sciences agronomiques, Univ Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. Algérie, 256 p.
- Megrerouche R.,** 2006. Sensibilité de la végétation forestière aux incendies: Cas de la forêt domaniale de Chettabah-Ain Smara-Constantine. Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement, Université de Constantine, 106 p.
- Merdas S.,** 2007. Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj. Mémoire de Magistère, Univ. de Constantine, 51 p.
- Mezned N., Chakroun H. et Boussema M.R.,** 2005. Apport de la télédétection dans la gestion des géorisques: cas des incendies de forêt en milieu semi-aride tunisien. *Revue de Télédétection*, vol. 5 n° (1-2-3), pp. 197-212.

**Missoumi A., Mederbal K. et Benabdelli K.,** 2002. Apport des systèmes d'information géographiques dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêts exemple de la forêt domaniale de Kouneidat, Algérie. Forêt méditerranéenne t. XXIII, n° 1, juin 2002, pp. 11-22.

**Mol T. et Küçükosmanoglu A.,** 1997. Forest fires in Turkey. In Proc. XI World Forestry Congress, Antalya, Turkey, 10 p.

**Moro C. et Valette J.C.,** 1996. Teneur en eau de combustibles forestiers méditerranéens. Document Interne INRA-PIF 9602, 28 p.

## P

**Papio C., Trabaud L.,** 1991. Comparative study of the aerial structure of fire shrubs of Mediterranean shrublands. Forest Science, 37, 1: pp. 146-159.

**Pausas J.G.,** 2004. Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). Glob. Chang. 63: pp. 337-350.

**Pew K.L. et Larsen C.P.S.,** 2001. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. Forest Ecology and Management, 140: pp. 1-18.

**Peyre S.,** 2004. Le chêne-liège des Pyrénées-Orientales face au feu, Colloque Vivexpo 2004 : « Le chêne-liège face au feu », 6 p.

**Piñol J., Terradas J. et Lloret F.,** 1998. Climate warming-wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. Clim. Chang. 38: pp. 345-357.

**Propeck-Zimmermann E., Guillot P., Saint-Gérand T., Bonnet E. et Blondel C.,** 2007. Les nouvelles formes d'inscription territoriale des risques industriels : Appui méthodologique aux gestionnaires et décideurs de l'estuaire de la Seine dans le domaine des sciences humaines et sociales. Rapport de recherche Programme « Risques, Décisions, Territoires », Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 201 p.

## Q

**Quézel P.,** 1985. Definition of the Mediterranean region and origin of its flora. In C. Gomez-Campo, ed., Plant conservation in the Mediterranean area. Dordrecht, the Netherlands, W. Junk.

**R**

**Rebai A.**, 1982. Les incendies de forêts dans la wilaya de Mostaganem (Algérie) : étude écologique et propositions d'aménagement. Thèse de Doctorat spécialité Ecologie Méditerranéenne. Faculté des Sciences et Techniques de St.-Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, 130 p.

**Rey J.S.**, 1997. Cartography of forest fire risk with geographical information systems and remote sensing. In P Balabanis, R Fantechi. ed. Forest fire risk and management. European Commission. Porto Carras. Halkidiki. Greece, pp. 425-430.

**Romero-Calcerrada R., Novillo C.J., Millington, J.D.A., et Gómez Jiménez I.**, 2008. GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain). *Landscape Ecology* 23, pp. 341-354.

**S**

**San-Miguel-Ayanz J., Moreno M.J. et Camia A.**, 2013. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecol. Manage.* 294: pp. 11-22.

**Saint-Gérand T.**, 2002. S.I.G. : Structures conceptuelles pour l'analyse spatiale. Habilitation à diriger des recherches, Université de Rouen, 187 p.

**Saint-Gérand T.**, 2005. Comprendre pour mesurer ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel. In Guérmond Y., dir., *Modélisation en géographie : déterminismes et complexités*. Paris : Hermès science publications, coll. « IGET, série Aménagement et gestion du territoire », 389 p.

**Scarascia-Mugnozza G., Helfried H., Piussi P. et Kallipi R.**, 2000. Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132: pp. 97–109.

**Sebastián-López A., San-Miguel-Ayanz J. et Burgan R.E.**, 2002. Integration of satellite sensor data, fuel type maps and meteorological observations for the evaluation of forest fire risk at the pan-European scale. *International Journal of Remote Sensing*, vol.23, n°13, pp. 2713-2719.

**Sellers P. J.**, 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing* 6: 8, pp. 1335-1372.

**Shahram Y.**, 2006. Development of a gis-based spatial decision support system for forest fire management. Thesis Master Of Science, Department of Geography, Simon Fraser University, Canada, 112 p.

**Sol B.**, 1990. Estimation du risque météorologique d'incendies de forêts dans le sud-est de la France. In *Revue Forestière Française*. pp, 263-271.

## T

**Tehas Puig A.** et **Castellò Vidal J.I.**, 2003. Análisis multicriterio aplicado al estudio del riesgo de propagación de un incendio forestal. *Salamandra. Notes sur les feux de forets 1*: pp. 66-76.

**Trabaud L.**, 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du bas-Languedoc. Thèse Doc. Etat Univ. Sc. Techn. Languedoc, Montpellier, 288 p.

**Trabaud L.**, 1985. Quantités d'énergie et puissance potentielle de feu de quelques communautés végétales du sud de la France. *Acta Oecologica, Oecologica Plantarum 6*: pp. 387-394.

## U

**Ubysz B.** et **Szczygieł R.**, 2006. A study on the natural and social causes of forest fires in Poland. *Forest Ecology and Management 234S*: 13 p.

## V

**Valette J.C.**, 1990. Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Conséquence sur la combustibilité des formations forestières. In *Revue forestière française*, 17 : pp. 76-92.

**Van Wagner C.E.**, 1987. Elaboration et structure de la méthode Canadienne de l'indice forêt météo service Canadien des forêts. Gouvernement du Canada ; 34 p.

**Varela J., Arias J.E., Sordo I.** et **Tarela A.**, 2003. Multicriteria decision analysis for forest fire risk assessment in Galicia, Spain. 4<sup>th</sup> International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to forest fire management: Innovative concepts and methods in fire danger estimation, 5-7/6/2003, Ghent University, Belgium.

**Vasconcelos M.J., Silva S., Tome M., Alvim M. et Cardoso Pereira J.M.,** 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Source Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 67, n°1, pp. 73-81.

**Vega-Garcia C., Woodard P.M. et Lee B.S.,** 1993. Geographic and temporal factors that seem to explain human-caused fire occurrence in Withecourt Forest, Alberta. In *Proceedings of GIS'93 Symposium, Vancouver, British Columbia*: pp. 115-119.

**Vega-Garcia C., Woodard P.M., Titus S.J., Adamowicz W.L. et Lee B.S.,** 1995. A logit model for predicting the daily occurrence of human caused forest fires. *International Journal of Wildland Fire* 5 (2): pp. 101-111.

**Vega-Garcia C., Lee B.S. et Woodard P.M.,** 1996. Applying neural network technology to human-caused wildfire occurrence prediction. *AI Applications*. 10, 3: pp. 9-18.

**Viegas D.X., Sol B., Bovio G., Nosenzo A., Ferreira A.,** 1999. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* 9(4), 1999, pp. 235-246.

## W

**Wittkuhn R.S., et Hamilton T.,** 2010. Using fire history data to map temporal sequences of fire return intervals and seasons. *Fire Ecology* 6(2): pp. 97-114.

## Z

**Zouadia H.,** 2006. Bilan des incendies de forêts dans l'Est algériens : cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk Ahras. *Mémoire Magistère, Université de Constantine*, 155 p.

*Résumés*

## RÉSUMÉ

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

Les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'information liés aux feux de forêts, une fois intégrés dans un système d'information géographique, se sont avérées comme une option fiable de suivi des urgences, d'identification des zones à risques et de cartographie de l'étendue des feux.

La base de données géographique produite au cours de cette étude constitue un outil extrêmement utile pour la compréhension et le suivi des feux de forêts et permettent aux gestionnaires et aux décideurs de disposer de bases valables pour la prise de décisions.

## **ABSTRACT**

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

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

The geographical database compiled in this work is an extremely useful tool for understanding and monitoring wildfires and will provide managers and decision takers with valid arguments to justify their decisions.

## ملخص

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

أثبتت بيانات الأقمار الإصطناعية لرصد الأرض المرتبطة بأنواع مختلفة من معلومات حرائق الغابات، بعد أن تم دمجها في نظام معلومات جغرافية، أنها خيار موثوق به لرصد حالات الطوارئ، تحديد المجالات التي يزيد فيها خطر الحرائق، وتحديد نطاق الحرائق.

قاعدة البيانات الجغرافية التي تم تجميعها خلال هذه الدراسة هي أداة مفيدة للغاية لفهم ورصد حرائق الغابات وستوفر للمدراء و متخذي القرارات أسسا صحيحة لتبرير قراراتهم.

**Nom :** ARFA  
**Prénom :** Azzedine Mohamed Touffik

**Date de soutenance :** 23 /02 /2019

**Thème**

Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf.

**Nature du diplôme :** Doctorat en Sciences  
**Filière:** Écologie et Environnement  
**Option :** Gestion et pathologies des écosystèmes forestiers

**RÉSUMÉ**

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

Les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'informations liées aux feux de forêts intégrées dans un système d'information géographique, se sont avérées comme une option fiable de suivi des urgences, d'identification des zones à risques et de cartographie de l'étendue des feux.

La base de données géographique produite au cours de cette étude constitue un outil extrêmement utile pour la compréhension et le suivi des feux de forêts et permettent aux gestionnaires et décideurs de disposer d'arguments valables pour la prise de décisions.

**Mots clés :** Feux, Forêts, SIG, Risque, Télédétection.

**Laboratoire de recherche :** Développement et Valorisation des Ressources Phylogénétiques

**Membres du jury :**

Président : Mr. ALATOU Djamel	Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1
Directeur : Mr. BENDERRADJI Med El Habib	Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1
Co.directeur : Mr. SAINT.GERAND Thierry	Prof. Université de Caen Normandie, France
Examineur : Mr. GHARZOULI Rachid	Prof. Université Ferhat Abbas Sétif 1
Examineur : Mme. TATAR Hafiza	Prof. Université Frères Mentouri Constantine 1
Examineur : Mr. BOUNAR Rabah	MCA. Université Mohamed Boudiaf M'sila