



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABBES LAGHROUR DE KHENCHELA  
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de Génie industriel

N° de série :...../2020

## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

**Spécialité: Automatique et informatique industriel**

**Option: Automatique**

# Systeme de prédiction des incendies de forêts basé sur la logique floue

*Présenté le 15 septembre 2020*

*Par*

*KAREK Safa*

*Devant le jury composé de*

Dr. AOURAGH Salima

Présidente

Dr. SAHOUR Hakim

Encadreur

Dr. Boumaaraf Abd Elaali

Examineur

**Année universitaire: 2019-2020**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

# Remerciements

*Le premier et dernier merci à Dieu tout puissant  
Je tiens à remercier Mr SAHOUR HAKIM, pour  
ces précieux conseils afin de mener à bien ce  
travail.*

*Je remercie les membres du jury qui m'ont honoré  
d'avoir évalué ce travail et le juger  
J'exprime mes vifs remerciements à toute personne  
qui a collaboré de près ou de loin à l'élaboration  
de ce mémoire.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste mémoire à  
Mes chères parents.*

*A mon cher mari qui m'a apporté un  
soutien total*

*Et des encouragements sans oublier mes  
filles.*

*Et à toutes les personnes qui tiennent à  
cœur.*

## Sommaire

<b>Liste des tableaux:</b> .....	
<b>Liste des photos :</b> .....	
<b>Liste des abréviations:</b> .....	
<b>Introduction générale :</b> .....	
<b>Chapitre I: Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela</b>	
<b>Introduction:</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1. Le patrimoine forestier en Algérie :</b> .....	<b>4</b>
I.1.1. Contexte National : .....	4
I.1.2. Structure et la composition de la forêt Algérienne :.....	5
I.1.2.1. Caractéristique générales : .....	5
I.1.2.2. La superficie forestière par groupe d'espèce: .....	5
I.1.2.3. La répartition géographique des principales essences forestières en Algérie :.....	5
I.1.3 La Structure de la végétation.....	8
<b>I.2 Le rôle de forêt :</b> .....	<b>9</b>
I.2.1 Fonction de production : .....	9
I.2.2 Fonction Sociale.....	9
I.2.3 Fonction écologique :.....	9
<b>I.3 Présentation de la forêt de Khenchela :</b> .....	<b>10</b>
I.3.1 Localisation géographique et administrative : .....	10
I.3.2 Le milieu Naturel : .....	11
I.3.2.1. Le relief .....	11
I.3.2.2. Le climat : .....	12
I.3.2.3. Les sols et la végétation : .....	13
I.3.3. Description de la forêt de Khenchela par essence :.....	16
I.3.3.1.Le chélia:.....	18
I.3.3.2. La forêt d'Ouled Oudjana: .....	18
I.3.3.2 Massif de Beni Imloul et massif d'Ouled Yagoub:.....	19
<b>I.4. Les causes de dégradation de la forêt Algérienne :</b> .....	<b>21</b>
<b>Conclusion:</b> .....	<b>23</b>
<b>Chapitre II: Les incendies des forets</b>	
<b>Introduction:</b> .....	<b>26</b>
<b>II.1. Définition :</b> .....	<b>27</b>
II.1.1. le feu: .....	27
II.1.2. L'incendie :.....	27
II.1.3. L'Inflammabilité : .....	27

II.1.4. Combustibilité:.....	27
<b>II.2. le comportement du feu:.....</b>	<b>27</b>
II.2.1 Le combustible:.....	28
II.2.2 Le comburant (O <sub>2</sub> ): .....	28
II.2.3 Énergie d'activation (la chaleur): .....	28
<b>II.3 Différent types de feu :.....</b>	<b>28</b>
<b>II.4 Facteurs influençant la propagation d'un feu de forêt : .....</b>	<b>29</b>
II.4.1. Influence de la végétation : .....	29
II.4.2 Influence de relief et de la déclivité du terrain : .....	29
II.4.3 L'influence du vent: .....	30
II.4.4. Combinaison du relief et de vent: .....	30
<b>II.5. Historiques des feux de forêts en Algérie : .....</b>	<b>30</b>
II.5.1 Pendant la période coloniale 1876-1963:.....	30
II.5.2. Après l'indépendance 1963-2012:.....	31
<b>II.6 Les incendies de forêts in Wilaya de Khenchela:.....</b>	<b>31</b>
<b>II.7. Les causes des incendies de forêt :.....</b>	<b>33</b>
II.7.1 Les causes naturelles :.....	34
II.7.2. Les causes anthropiques : .....	34
<b>II.8. Le risque d'incendie de forêt: .....</b>	<b>35</b>
II.8.1 Définition "Risques" : .....	35
II.8.2. Analyse de risque.....	36
II.8.3. L'étude du risque de feu de forêt :.....	36
II.8.3.1 Des paramètres topographique: .....	37
II.8.3.2 Paramètre de végétation :.....	37
II.8.3.3 Les paramètres climatiques :.....	37
II.8.3.4. les paramètres socio-économiques :.....	38
II.8.4. Carte de risque de départ de feu des forestiers de Khenchela.....	39
II.8.5. Les conséquences d'un feu de forêt : .....	41
II.8.5.1. Les conséquences sur l'homme :.....	41
II.8.5.2 les conséquences économiques:.....	41
II.8.5.3. les conséquences sur l'environnement: .....	41
<b>Conclusion: .....</b>	<b>42</b>

### **Chapitre III: Approche méthodologique**

<b>Introduction .....</b>	<b>45</b>
<b>III-1 Concept fondamentaux de théorie des ensembles flous et la logique floue: .....</b>	<b>46</b>
<b>III.2. Méthodologies: .....</b>	<b>49</b>

III-2-1 Explication des facteurs de risque : .....	50
III.2.1.1. De risque Topographique: .....	50
III.2.1.2. Le risque de combustible: (le risque d'essence) .....	50
III.2.1.3 Le risque météorologique: .....	51
III.2.1.4 Risque des facteurs anthropiques: .....	52
III.2.1.5- Historique d'incendie : .....	52
III.2.2. Déterminer les variables d'entrées et de sortie:.....	52
III.2.3 L'étape de fuzzification: .....	53
III.2.3.1 Fuzzification les entrées TCV, DCF, TH et to sortie RFC:.....	53
III.2.3.2 Fuzzifier des entrées: Température, vent et Humidité et sortie:.....	54
III.2.3.3 Fuzzifier des entrées de facteur Anthropique RFA: .....	55
III.2.3.4 Fuzzifier des entrées du Facteur RFT(P) + HI: .....	55
III.2.3.5 Fuzzifier la sortie du modèle proposé RFF: .....	56
III.2.4. Règles différence (If-then utilisé dans l'étude) : .....	56
III.2.5 Discutez des résultats de la sortie finale (RFF) du modèle proposé:.....	61
<b>Conclusion: .....</b>	<b>64</b>
<b>Conclusion générale: .....</b>	<b>66</b>
<b>Bibliographie: .....</b>	<b>68</b>
<b>Résumé: .....</b>	<b>72</b>

<b>Liste des figures</b>	
<b>Figure 1 : Carte d'Algérie (Wikipedia)</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2: Evolution du patrimoine forestier (O.S.N)</b>	<b>5</b>
<b>Figure 3 : carte des principales essences forestières en Algérie (I.N.R.F KaziAowal et Rachedi 2010)</b>	<b>7</b>
<b>Figure 4 : Réparation des forêts par groupe d'espèces (2003). (O.S.N)</b>	<b>8</b>
<b>Figure 5: les strates de la végétation forestière</b>	<b>8</b>
<b>Figure 6: géographie de Khenchela (ANDI 2015)</b>	<b>11</b>
<b>Figure 7: carte de relief et la pente de Khenchela(ANDI 2015)</b>	<b>12</b>
<b>Figure 8: Répartition des zones naturelles de Khenchela(ANDI 2015)</b>	<b>12</b>
<b>Figure 9: Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 18 ans (1994-2011). (D.G.F de Khenchela)</b>	<b>13</b>
<b>Figure 10: carte d'occupation des sols de Khenchela (D.G.F)</b>	<b>15</b>
<b>Figure 11: Carte d'affectations des terres de Khenchela (D.G.F, étude d'inventaire forestier national)</b>	<b>16</b>
<b>Figure 12: carte d'essences de Khenchela (D.G.F)</b>	<b>17</b>
<b>Figure 13: Triangle du feu.</b>	<b>27</b>
<b>Figure 14: Différents types des feux de forêts (Collin et al, 2001).</b>	<b>29</b>
<b>Figure 15: Evolution annuelle des superficies parcourus par le feu en Algérie (période 1976-2012) (SARI1975, Puyo 2008, Meddour et al, 2008).</b>	<b>30</b>
<b>Figure 16: les causes d'incendies de forêt (1997-2010)</b>	<b>34</b>
<b>Figure 17: Carte de risque (sensibilité) de Khenchela (C.F.K)</b>	<b>39</b>
<b>Figure 18: Carte de situation des massifs forestiers de wilaya de Khenchela (Source INF 2008, UTM: Zone 31)</b>	<b>40</b>
<b>Figure 19: Traitement flow (Diagnostic par la logique floue) (F.Chevire et F.Guely)</b>	<b>47</b>
<b>Figure 20 : Définition les règles d'inférence de Mamdani (Main -Max) (F.Chevire et F.Guely)</b>	<b>48</b>

<b>Figure 21 : Défuzzification par centre de gravité (F.Chevire et F.Guely)</b>	<b>49</b>
<b>Figure 22 Structure les entrées et sortie du modèle proposé</b>	<b>52</b>
<b>Figure 23: La fonction d'appartenance des entrées et sortie.</b>	<b>54</b>
<b>Figure 24 : La fonction d'appartenance de chaque entrée et sortie</b>	<b>54</b>
<b>Figure 25: Les fonctions d'appartenance des entrés et sortie du modèle.</b>	<b>55</b>
<b>Figure 26: La fonction d'appartenance de chaque entrée et sortie</b>	<b>56</b>
<b>Figure 27 : la fonction d'appartenance de sortie RFF</b>	<b>56</b>
<b>Figure 28: règles (If-Then) utilisé dans RFC</b>	<b>59</b>
<b>Figure 29: règles (If-Then) utilisé dans RFM</b>	<b>59</b>
<b>Figure 30: règles (If-Then) utilisé dans RFA</b>	<b>59</b>
<b>Figure 31: règles (If-Then) utilisé dans REF,HI</b>	<b>59</b>
<b>Figure 32: Fenêtre de calcul de règle logique utilisé pour évaluer les cas étudiés.</b>	<b>60</b>

<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Tableau 1 : Principales essences forestiers et leurs superficies (ha)</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2 : Précipitation moyenne mensuelle de la station de Khenchela (1994-2011) en mm.(D.G.F de Khenchela)</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 3 : la répartition des terres de la wilaya de Khenchela (2000 et 2008)</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 4: Les superficies de chaque classe d'occupation du sol du massif de Beni-Imloul entre 1987 et 2014. (Kenza. G – Chaouki. Chafai et AbdelahBentoati)</b>	<b>19</b>
<b>Tableau 5: Les superficies de chaque classe d'occupation du sol du massif d'OuledYagoub entre 1987 et 2014. (Kenza. G – Chaouki. Chafai et AbdelahBentoati)</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 6: classes des pentes de deux massifs (Kenza. G – Chaouki. Chafai et AbdelahBentoati)</b>	<b>21</b>
<b>Tableau 7: le surpâturage dans les communes de Khenchela (F.A.O Projet Algerie 15)</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 8. Bilan des incendies de forêts (1985-2018). (D.G.F et C.F.K)</b>	<b>31</b>
<b>Tableau 9: la superficie parcourus par le feu de forêt Domaniale</b>	<b>33</b>
<b>Tableau 10: Les éléments du risque incendie de forêt: (Jappiot et al 2002).</b>	<b>35</b>
<b>Tableau 11 : Les données climatiques pour Khenchela</b>	<b>51</b>
<b>Tableau 12: Règle différence (If-then) utilisé dans RFC.</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 13: (If-Then) de RFM:</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 14: (If-then) de RFA</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 15: Règle d'inférence (If-Then) de RFTP,HI</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 16: Les résultats de sortie obtenus en fonction des variables d'entrée</b>	<b>62</b>

## Liste des photos

<b>Photo 1 : Versant Sud de DjbalChélia</b>	<b>17</b>
<b>Photo 2 : Versant Nord de DjbalChélia</b>	<b>17</b>
<b>Photo 3 : pinède de Beni Oudjana</b>	<b>17</b>
<b>Photo 4:Forêt domaniale d'OuledYagoub</b>	<b>19</b>

## Liste des abréviations

<b>S.A.U</b>	Surface Agricole Utile
<b>D.G.F</b>	Direction Générale des Forêts
<b>O.S.N</b>	Office National des Statistiques
<b>C.F.K</b>	Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela
<b>S.I.G</b>	Système Informatique Géographique
<b>M.C.D.M</b>	"Integration of <b>M</b> ulticriteria <b>D</b> ecision" ou "l'intégration de prise de décision multicritères".
<b>F.A.O</b>	" <b>F</b> ood and <b>A</b> griculture <b>O</b> rganization of the united nations" ou "organisation des nortions unies pour l'alimentation et l'agriculture".
<b>A.N.D.I</b>	Agence Nationale pour le Développement des Investissements.
<b>A.F.E.D</b>	Arab Forum for Environment and Development

# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale :

La forêt algérienne comme toutes les forêts de région méditerranéenne est soumise à des agressions multiples d'origines tant climatique qu'anthropique. Parmi toutes ces agressions, ce sont les incendies qui causent le plus de dégâts car ils détruisent annuellement des superficies appréciables.

Les incendies de forêt affectent des grandes surfaces et causent d'importants dommages qui peuvent avoir les lourdes conséquences écologiques, sociales et économiques. L'adoption des mesures et d'initiatives de la prévention et la détection précoce et même de la prédiction est devenue plus que nécessaire. Au tant que seuls moyens de réduire le coût des dégâts causés.

Les méthodes classiques généralement utilisées en Algérie pour la prévention et la lutte contre les incendies demandent du temps et ne sont toujours faibles au vu de la complexité et la diversité des écosystèmes forestiers.

Les cartes d'incendies réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. Des travaux dans ce domaine reposent sur la télédétection et les S.I.G (système informatique géographique) on a montré leur efficacité et leur rapidité en matière d'élaboration de carte d'évaluation du risque incendie en zone forestière grâce à l'analyse thématique des images satellitaires. [1], en outre, l'intégration de prise de décision multicritères (M.C.D.N).

Nous visons dans cette étude à développer un modèle pour prédire le risque de départ de feu, en utilisant l'approche de logique floue pour réduire la possibilité que cette catastrophe se produise à l'avenir, en introduisant des facteurs de combustible et de la propagation du feu dans la forêt, et ainsi les résultats de ce modèle aident à élaborer une cartographie des risques d'incendies. Ce qui permet son tour aux services concernés d'établir un plan opérationnel pour une intervention rapide.

Ce présent mémoire comprendra trois chapitres:

- ❖ **Chapitre I:** dans ce chapitre, nous soulignons l'importance des forêts en générale, et présentation de forêts de Khenchela en particulier
- ❖ **Chapitre II:** résumé le discours sur les incendies de forêt, les causes de leur apparition et les facteurs à l'origine de cette catastrophe, et nous résumons l'étude sur les forêts de Khenchela.
- ❖ **Chapitre III:** nous utilisons la méthode la plus appropriée pour résoudre le problème du risque d'incendies pour les forêts de Khenchela, en utilisant une technique de la logique floue.

Notre mémoire sera clôturé par une conclusion générale.



**Chapitre I :**  
**Intérêt des forêts et présentation  
de ma forêt de Khenchela**

## **Introduction**

### **I.1. Le patrimoine forestier en Algérie**

#### **I.1.1. Contexte National**

#### **I.1.2. Structure et la composition de la forêt Algérienne**

#### **I.1.3 La Structure de la végétation**

### **I.2 Le rôle de forêt**

#### **I.2.1 Fonction de production**

#### **I.2.2 Fonction Sociale**

#### **I.2.3 Fonction écologique**

### **I.3 Présentation de la forêt de Khenchela**

#### **I.3.1 Localisation géographique et administrative**

#### **I.3.2 Le milieu Naturel**

#### **I.3.3. Description de la forêt de Khenchela par essence**

### **I.4. Les causes de dégradation de la forêt Algérienne**

## **Conclusion**

# Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

## Introduction:

Les forêts sont définies comme un écosystème qui contient tous les éléments qui contiennent tous les éléments vivants et non vivants, qui sont interconnectés avec plusieurs éléments afin qu'ils se complètent, et ces systèmes fonctionnent de manière coordonnée et équilibrée jusqu'à ce que tous les éléments naturels soient complets et aboutissent à ce qu'on appelle des forêts.

### I.1. Le patrimoine forestier en Algérie :

#### I.1.1. Contexte National :

L'Algérie est un pays africain et méditerranéen qui s'étale sur une superficie de 2.381.741 Km<sup>2</sup>, le pays s'étend entre les altitudes 18° et 38° Nord et entre les longitudes 9° ouest et 12° Est. On peut inscrire le territoire dans un hexagone dont les principales dimensions seraient : 1900 km, du nord au sud, 1800 km, de l'ouest à l'est, 2100 km du Nord-Est au Sud-ouest et 1200 km de côtes sur la Méditerranée. Le pays est majoritairement aride et semi-aride, malgré sa réputation de pays méditerranéen. Les zones de territoire qui reçoivent plus de 400 mm de pluie par an se limitent à une bande d'un maximum de 1500 km de profondeur à partir du littoral. Trois ensembles très contrastés se partagent le territoire algérien : le Tell, au Nord représentant 4% de la superficie totale de l'Algérie, les hauts plateaux, à l'intérieur avec 9% de la superficie totale, et le grand Sahara, au Sud avec 87% du territoire. [2].



Figure 1 : Carte d'Algérie

### I.1.2. Structure et la composition de la forêt Algérienne :

#### I.1.2.1. Caractéristique générales :

Le caractère méditerranéen de la forêt algérienne n'est pas démontré vu sa situation géographique et la physionomie que celle-ci présente. Cet ensemble d'arbres est en lutte perpétuelle contre l'homme, le feu, les troupeaux, une adaptation est ainsi effectuée dans la mesure où l'arbre devenant frugal s'enracine. Cet état d'équilibre incertain est conditionné par les influences du milieu physique et humain [3].

Forêt de lumière thermophile dans son ensemble, elle renferme des sous-bois puissants et envahissants et ainsi s'établit une concurrence en les deux strates. Une résistance biologique et écologique s'installe au sein des essences principales. Ce qui donne une certaine pérennité.

La sylve algérienne est formée essentiellement de trois types de formations végétales : la forêt, le maquis et la broussaille. [3]

#### I.1.2.2. La superficie forestière par groupe d'espèce:

La superficie des forêts et autres terrains boisés ne représente que 1,7% du territoire national. En 1985, cette superficie était estimée à 3.668.080 ha, dont 1.473.590 ha représentaient la forêt, soit 40%. En 2003, la superficie des forêts et autres terrains boisés était de 4.071.000 ha, représentant ainsi 1.468.000 ha de forêt, soit 36%.

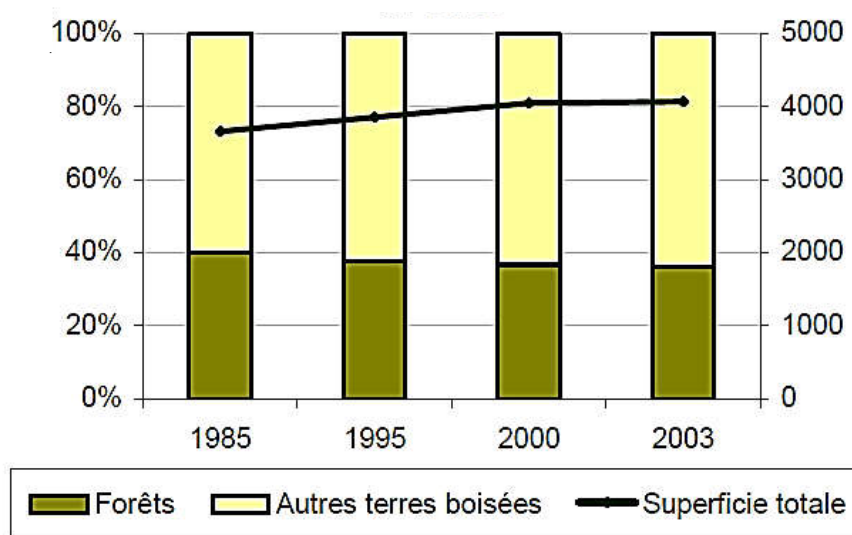


Figure 2: Evolution du patrimoine forestier

#### I.1.2.3. La répartition géographique des principales essences forestières en Algérie :

Les essences principales se répartissent en forêts d'intérêt économique constituées de résineux (Pin d'Alep, pin Maritime et cèdre) et de feuilles (chêne Zéen, Afarès et en Calyptues) (figure 3). [4].

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

---

- **Les forêts de pin d'Alep:** essence de l'étage semi-aride, sont localisées dans les wilayas des Sidi Bel Abbès, Saida, Tiaret, Relizane et Chlef, Ain Defla, Tipaza, Blida, Médeá, Bouira, Bordj Bou Arreridj, Djelfa, Batna, Khenchela et Tébessa.
- **Les forêts de chêne liège :** les forêts de cet essence occupent un place de parmi ordre dans l'économie forestière algérienne localisé à l'est du pays entre le littoral et une ligne passant approximativement par Tizi-ouazou, Kherrata, Guelma, souk ahras, l'ouest dans les régions de comme Tlemcen et de Mascara, en général, cette essence de l'étage bioclimatique humide et Sub-humide . [3].
- **Les forêts de chêne Zene et Afarès,** les deux Chênes sont concurrents sur les versants Nord et Sud, sont localisé dans les wilayas de Bejaia, Jijel et Guelma, Souk Ahras et Tarf.
- **Les forêts de cèdre** de développement à l'étage humide et froid, le cèdre de trouve au niveau des Aurès (Batna, Khenchela) et disséminés en petites Tâches dans les wilayas de Tissemsilt, Blida et TiziOuzou (du Djurdjura).
- **Les forêts de pin maritime :** il reprend dans les zones son territoire écologique grâce à des reboisement (sur le littoral Kabylie: les wilayas de Bejaia, Skikda, Jijel, et Annaba).
- **Les forêts de chêne vert:** essence commune et résistance du pourtour méditerranéen, en oranie vastes massifs purs en taillis essentiellement à travers Tiaret et Saida.
- **Les forêts de Thuya :** essence de l'étage brochmatique arides, ce oranaise de l'ouest algérien dans la partie occidentale, il forme tailles entre Mascara, Tiaret et Saïda ·
- **Les forêts de genévrier:** les hors genévriers (genévriers de Phénicie, genévrier oxycèdre et genévrier thuriféraire). Constituent un stade ultime de dégradation dans les Aurès et l'Atlas saharien (Djelfa et Boussaâda), il constitue de grandes superficie [3].

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

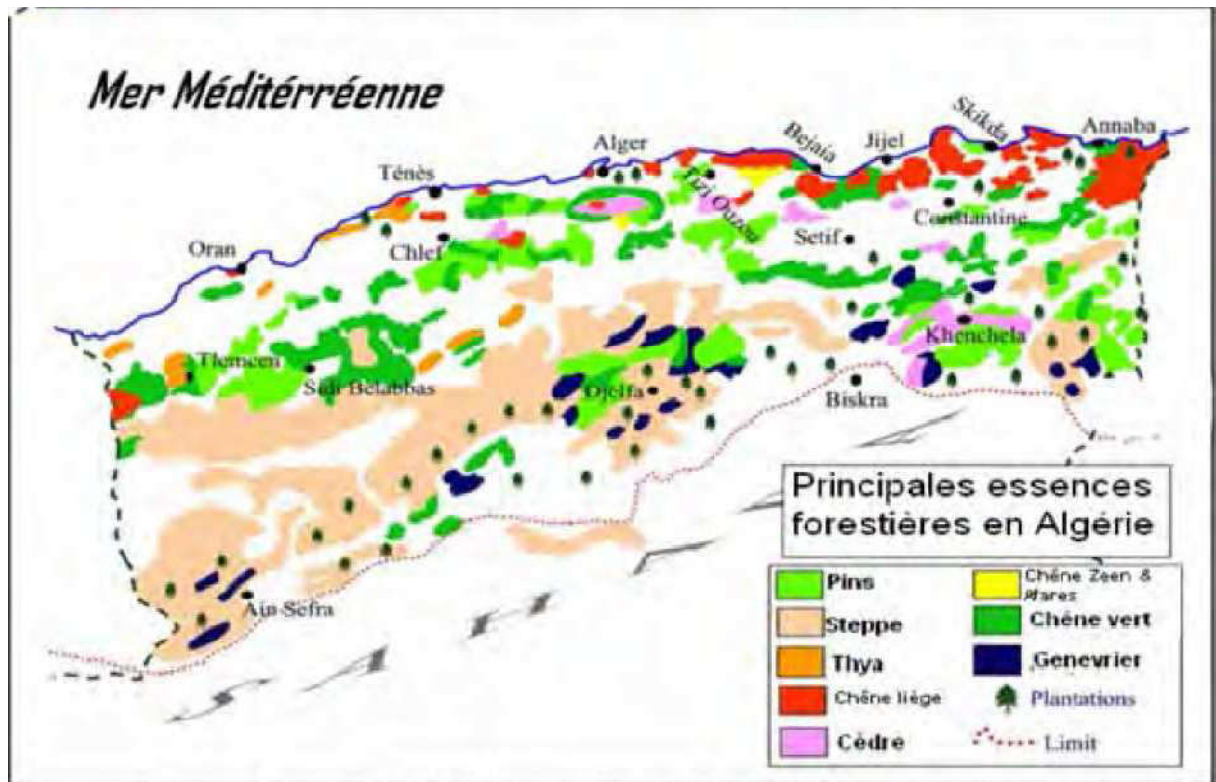


Figure 3 : carte des principales essences forestières en Algérie

Tableau 1 : Principales essences forestiers et leurs superficies (ha)

Superficie (ha) / Essence forestière	Seigue (1985)	Goussanem (2000)	INRF (1994) in MATE (2003)	Ghazi (2005)	DGF (2007)
-Pin d'Alep.	855 000	880 000	881 302	881 300	881 000
-Chêne liège.	440 000	230 000	228 925	-	230 000
-Chêne zeen et afarès.	67 000	48 000	48 034	48 000	48 000
-Cèdre de l'Atlas.	30 000	16 000	23 000	16 000	16 000
-Pin maritime.	12 000	32 000	31 513	31 400	31 000
-Chêne vert.	680 000		108 221	108 000	108 000
-Genévriers.	-	219 000	-	-	-
-Thuya de berbérie.	160 000	-	-	-	-
-Maquis et Broussailles.	-	1 087 600	1 876 000	-	1 662 000

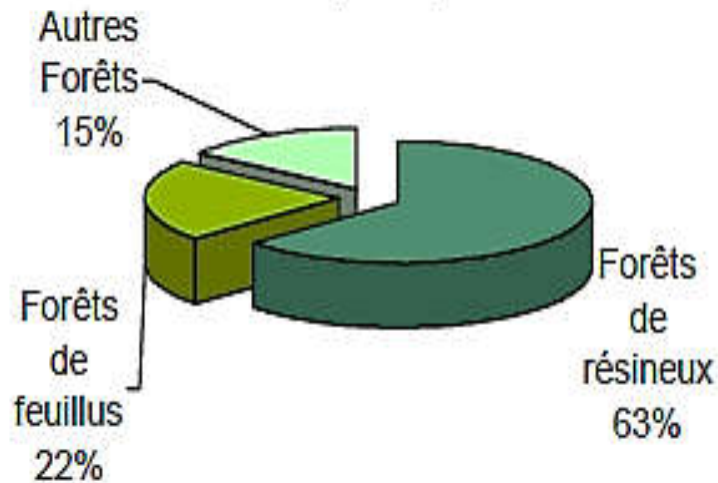


Figure 4 : Répartition des forêts par groupe d'espèces (2003).

### I.1.3 La Structure de la végétation

En fonction de la distribution verticale de la matière végétale, on distingue quatre strates "figure 5", ayant chacune des caractéristiques propres de combustion: [5]

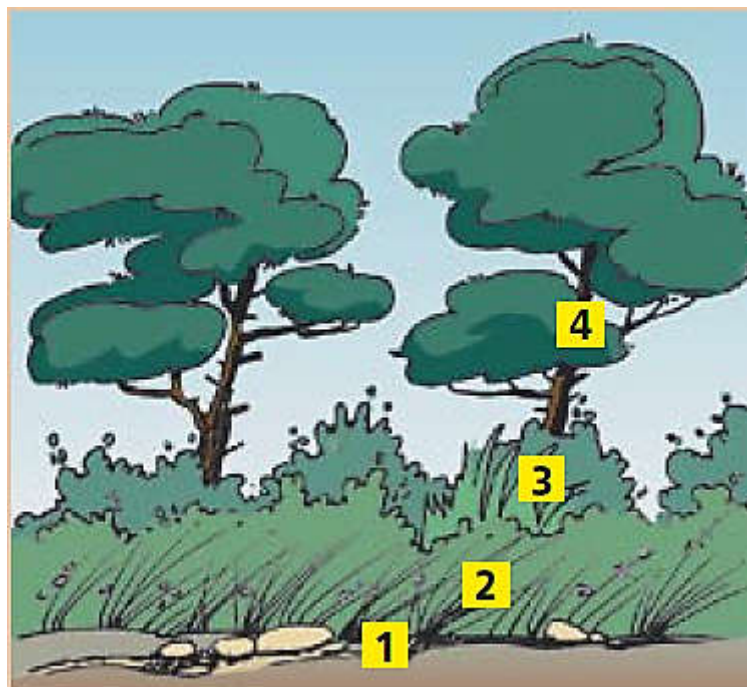


Figure 5: les strates de la végétation forestière

1. La litière très inflammable, elle est l'origine d'un grand nombre de départs de feux, difficiles à détecter, car se consomment lentement.
2. La strate herbacée : d'une grande inflammabilité, le vent peut y propager le feu sur de grandes surfaces.

## **Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"**

---

3. La strate des ligneux bas : (maquis, garrigue): d'inflammabilité moyenne, elle transmet rapidement le feu à la strate supérieure.
4. La strate des ligneux hauts: rarement à l'origine des feux, elle permet cependant la propagation des flammes lorsqu'elle est atteinte, ce sont les feux de cimes.

### **I.2 Le rôle de forêt :**

#### **I.2.1 Fonction de production :**

La production forestière algérienne est faible. [6] principalement du fait que les forêts productives ne couvrent qu'un tiers du patrimoine forestier national son environ 124900 Ha, la possibilité annuelle global toutes catégorie de bois confondues s'élève à environ 120000 m<sup>3</sup> [DGF,20] la production de liège brut est relativement constante , en moyenne 448.000 quintaux sont récoltés annuellement exception faite pour 1965 ou la production a atteint 350.000 qu . Cette exploitation durant les années de guerre.

Pour le pin d'Alep, il s'agit notamment des massifs de Talgh (sidi bel-Abbes), de Djelfa/smabachergwn et smabagherbi) et Khenchela/Beni Imloul), ces forêts sont exploitées depuis le début des années 80, en ce qui concerne les chênes Zeen et afarès, les principaux forêts (Gurrouch et Akfadou) sont en cours exploitation (Kerehbar 2008), les autres essences sont plutôt protégées. [7].

#### **I.2.2 Fonction Sociale**

La forêt est une source produits dont l'homme a besoin (énergie - oxygène, bois, ... etc). Elle contribue à la production des installations humaines et améliorer le microclimat : elle agit sur la régularisation des régimes de eaux et assure le maintien la fertilité des terres agricole. Elle constitue un lieu de repos, d'inspiration de détente et de loisirs. [7].

**Le pâturage :** la forêt méditerranéenne produit des ressources végétales que peuvent constituer un pâturage pour les animaux : herbes mais aussi fruits et feuilles des arbres et abustes. Ces ressources sont présentes en période de pénurie, ce qui les rend complémentaires avec les autres ressources pastorales. La présence de bétail, il affirme que l'existence ligne à usage multiple, sous-entend la combinaison de deux systèmes de production établis par l'homme : celui de production ligneuse affecté au forestiers et celui de la production animales consacré aux éleveurs.

L'existence simultanée des deux systèmes permet d'assurer la protection et lou la production des forêts et reproduction animale, dans le sens. [8]

#### **I.2.3 Fonction écologique :**

La forêt est une composante des équilibres écologiques, elle intervient pour réguler les fluctuations de nombreux facteurs de l'environnement global et pour le protéger contre les agressions d'établisantes. [9]

## **Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"**

---

- Sur le plan climatique, la forêt atténue les évapotranspirations, modère la vitesse de vents et favorise les précipitations.
- Elle intervient sur la qualité de l'air, en épurant de dernier par la fixation de polluants (recyclage) et en le purifiant par diffusion d'essences et de composés volatils.
- Régulation du débit d'eau d'une part à travers la réduction du ruissellement et l'augmentation du Temps de concentration des bassins versants et d'autre part en favorisant l'infiltration des précipitations excédentaire.
- Sur le plan édaphique, la forêt permet le maintien des sols, elle assure une protection physique et une stabilisation en diminuant le risque d'érosion des crues terrentielles et les chutes de pierres. En interceptés les pluies, la partie aérienne des arbres brise la force vive. [10]

### **I.3 Présentation de la forêt de Khenchela :**

#### **I.3.1 Localisation géographique et administrative :**

Née du dernier découpage administratif de 1984 de la wilaya mère de Batna, la wilaya de Khenchela est une 48 wilaya de Pays, elle Est situé au Nord-Est de l'Algérie, elle couvre une superficie de 975.6 Km<sup>2</sup>, soit 0,4% du Territoire national. Elle est composée de 08 Daïras subdivisées un total de 21 commune et compte un population d'environ 415000 habitons. A l'est, elle est limitée par la wilaya frontalière de Tébessa, au Nord par celle d'Oum El-Bouaghi, au Nord-ouest par celle de Batna, au sud-ouest et au sud par les wilayas sahariennes de Biskra et El Oued. [11].



Figure 6: géographie de Khenchela

### I.3.2 Le milieu Naturel :

**I.3.2.1. Le relief :** le relief de la wilaya de Khenchela est composé de quatre grandes ensembles géographiques (figure 7) : [11].

**a. Les montagnes :** 35% de la superficie de la wilaya, à l'ouest de la wilaya se trouvent les plus hautes montagnes du massifs des Aurès (avec le mont chélia à 2328 m), dans la zone centrale les monts de Nememcha et au nord-est les montagnes de Tafrent( Ain-Touila).

**b. les plateaux :** au Nord-Est (Mahmel et ouledRechache).

**c. les plaines :** Elles sont situées au Nord et Nord-ouest de la wilaya , elles comprennent Remila, Bouhmama et m'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines

**d. les parcours:** steppiques, Sahariens et les cholts:

Au Sud occupant près de la moitié de la superficie de la wilaya (56%) ils sont constitués en grande partie de terre sablonneuse avec à l'extrême sud, des dépressions (chotts) et de la zone.

On y trouve les pâturages et l'élevage des troupeaux à grande échelle

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

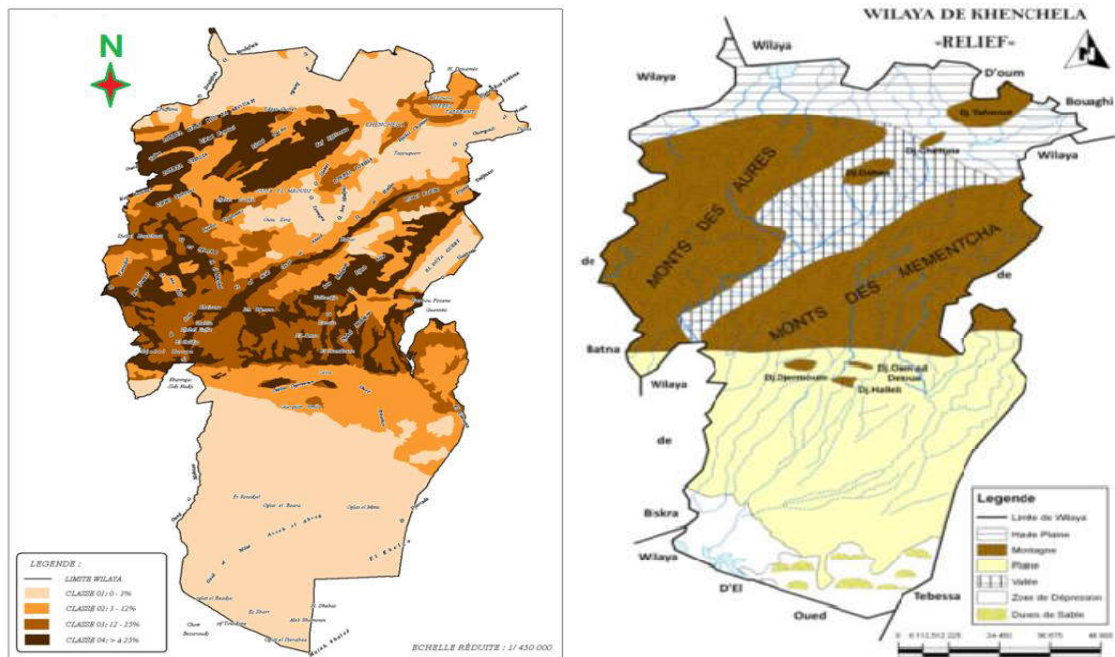


Figure 7: Carte de relief et la pente de Khenchela

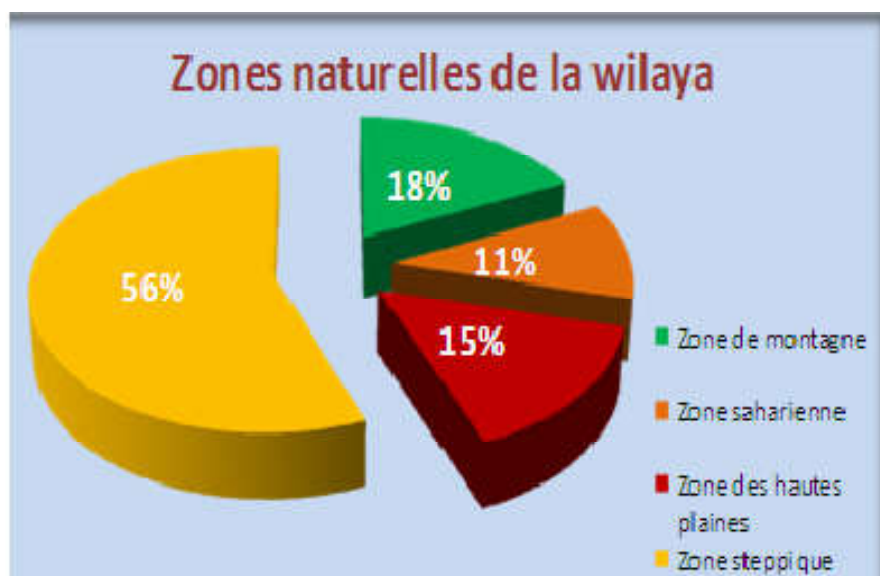


Figure 8: Répartition des zones naturelles de Khenchela

### I.3.2.2. Le climat :

L'hétérogénéité du relief, la situation géographique et l'allongement de Territoire Nord-Sud donnent une grande diversité à aspects climatiques sur de (relativement) courtes distances. Globalement le climat est de type Continental au Nord et Saharien à les hivers sont très froid avec pluviosité très variables selon les zones et les étés sont chauds et secs. [12].

- les Températures tournent autour de :

-2 C° pour la moyenne des minima

+25 C° pour la moyenne de maxima

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

-4,8 C° pour le minimum absolu

+42 C° pour le maximum absolu.

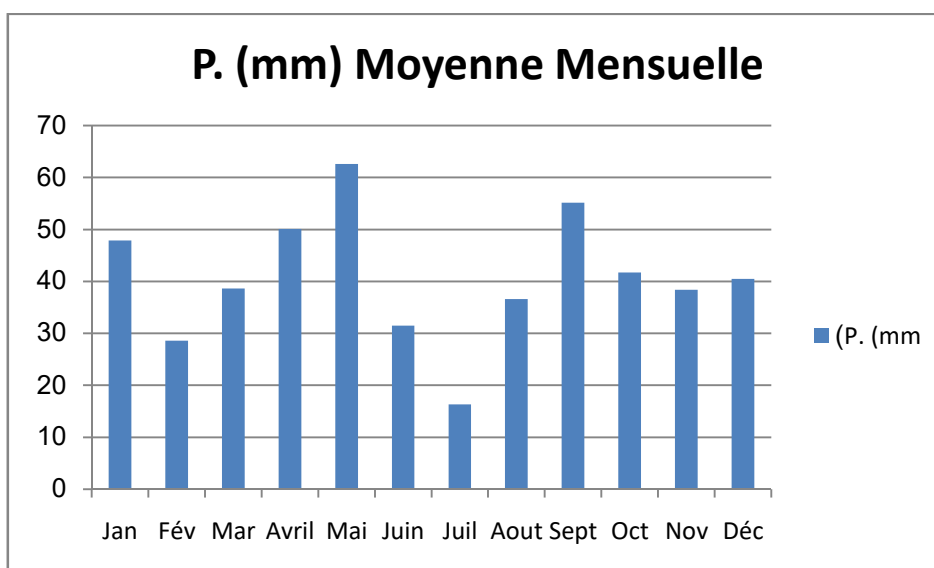
- **Les précipitations:**

les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'élément saisonnier, des régimes des cours d'eau, de l'adaptations la végétation et de l'agriculture [DGF], les hauteurs des précipitation mensuelles calculées pour le site étudié sont portées dans le Tableau 20.

Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière.

**Tableau 2 : Précipitation moyenne mensuelle de la station de Khenchela (1994-2011) en mm.**

P. (mm)	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	total
(1994-2011)	47.88	28.6	38.63	50.09	62.61	31.49	16.32	36.63	55.14	41.69	38.39	40.48	487.96



**Figure 9: Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 18 ans (1994-2011).**

Les précipitations annuelles vont de quelques 200 mm sur toute la moitié sud de la wilaya, à des niveaux de 700 à 1200 mm sur quelques zones restreintes des hautes montagnes des massifs du nord-ouest.

### I.2.2.3. Les sols et la végétation :

A l'exception des plaines du Nord au réseau hydrographique dense et à sols profonds et riches, les sols de la wilaya de Khenchela sont pauvres et peu profonds, au niveau de ces

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

plaines, le type de végétation naturelle se compose essentiellement d'armoïse (chih), Helba (AntememaHelba, Alba), Guettaf (atriplex) salsola et jujubier.

Les zones Nord-ouest et centre sont montagneuse. Au niveau de ments des Aurès, les sols sont insaturés humifères ou calcaires humifères avec affleurements rares de la roche mère les plateaux de Mahmel et oued El-arab, où la roche mère affleure sur les hauteurs, portent des sols calciques. Cette zone porte, à l'ouest, les plus belles forêts de cèdre, pin d'Alep et chêne vert. On y trouve aussi du cuprès, pin noir, du frêne et l'Alfa, l'armoïse, Jujubier, acacia, genévrier, et romarin. A l'est, les monts de Nememcha est une zone érodée à forêt dégradée où la roche mère affleure partout sauf sur une petite bande centrale à sols calciques. [12]

Les sols de la zone sud sont en majeure partie des solent- chaks mais aussi, des sols éoliens (relatif au vent) d'ablation (Parcours steppiques) et des sols basiques ou se pratique la céréaliculture par épandage de grues. A l'extrême sud on trouve des fonctions dunaires récentes. [12]

Le tableau suivant nous montré la répartition des terres de la wilaya pour les années 2000 et 2008:

**Tableau 3 : la répartition des terres de la wilaya de Khenchela (2000 et 2008)**

Année	2000 a [Ha]	2008 a [Ha]	b-a [Ha]
Sau	204.296	232.418	28.122
Forets	127.000	145.611	18.611
Alfa	42.000	42.000	0
Parcours	486.320	466.857	-19.463
Terres inclûtes	111.200	84.567	-26.633
<b>Total</b>	<b>970.816</b>	<b>971.453</b>	<b>637</b>

- la tendance apparaît mettre avec une diminution des terres inclûtes et parcours au profil de la Sau et des forêts. il est remarquable que les forêts, dont l'importance est d'autant plus grande qu'elles sont les plus méridionales du pays, couvrent près de 15% du territoire de la wilaya et qu'elles apparaissent ici en progression alors que la superficie est restée inchangée. [12]
- Actuellement, le parcours est continu pendant toute l'année aux basse altitudes dans les formations à pin d'Alep et à chêne vert, il est saisonnier en altitude, cependant, il dépend toutes l'année en forêt. [DGF]

## Carte d'Occupation des Sols - Wilaya de Khenchela

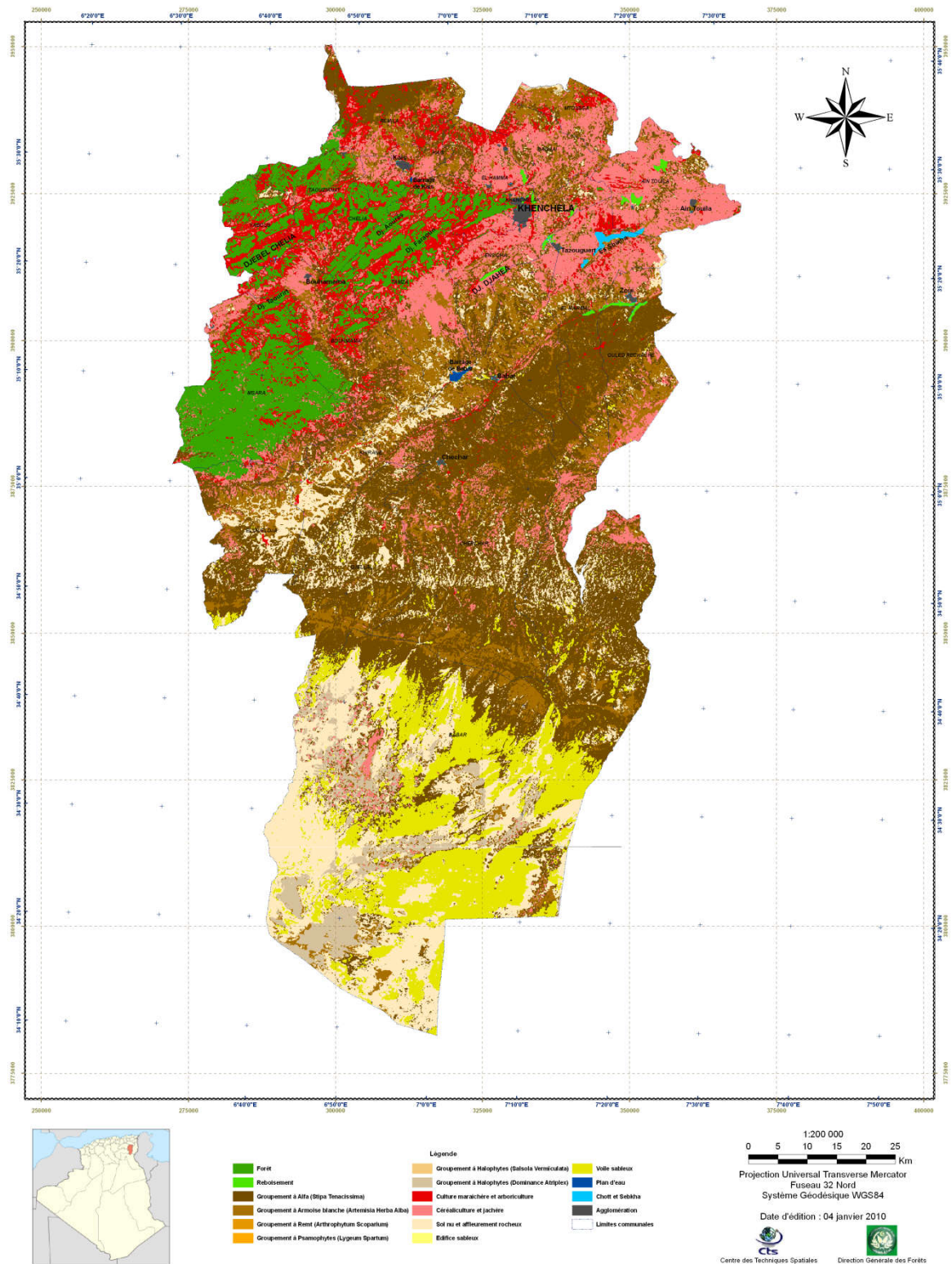


Figure 10: carte d'occupation des sols de Khenchela

# Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

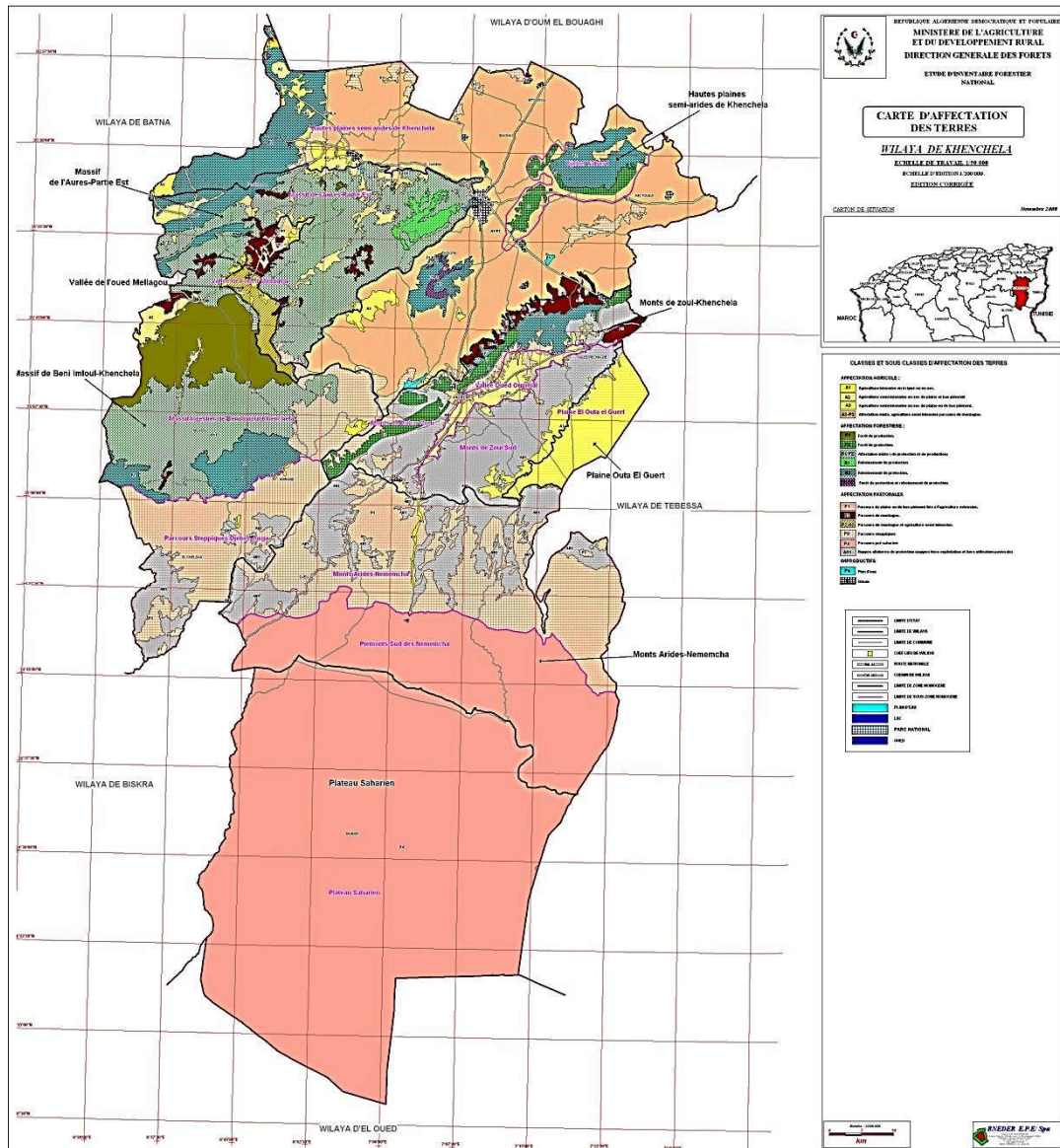


Figure 11: Carte d'affectations des terres de Khenchela

### I.3.3. Description de la forêt de Khenchela par essence :

La wilaya de Khenchela dispose de potentiel touristique naturel important et variés, une chaîne géologique exceptionnelle au nord-est, des montagnes aoussiennes où se situe le sommet de plus haut, celui de mont chélia. Les forêts se voient considérées comme les plus belles forêts de cèdre du bassin méditerranéen citant: les forêts de Beni oudjana et Beni Imoul, les forêts oulediyagoub.

# Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

La figure suivante est présente les essences principales de forêt de Khenchela:

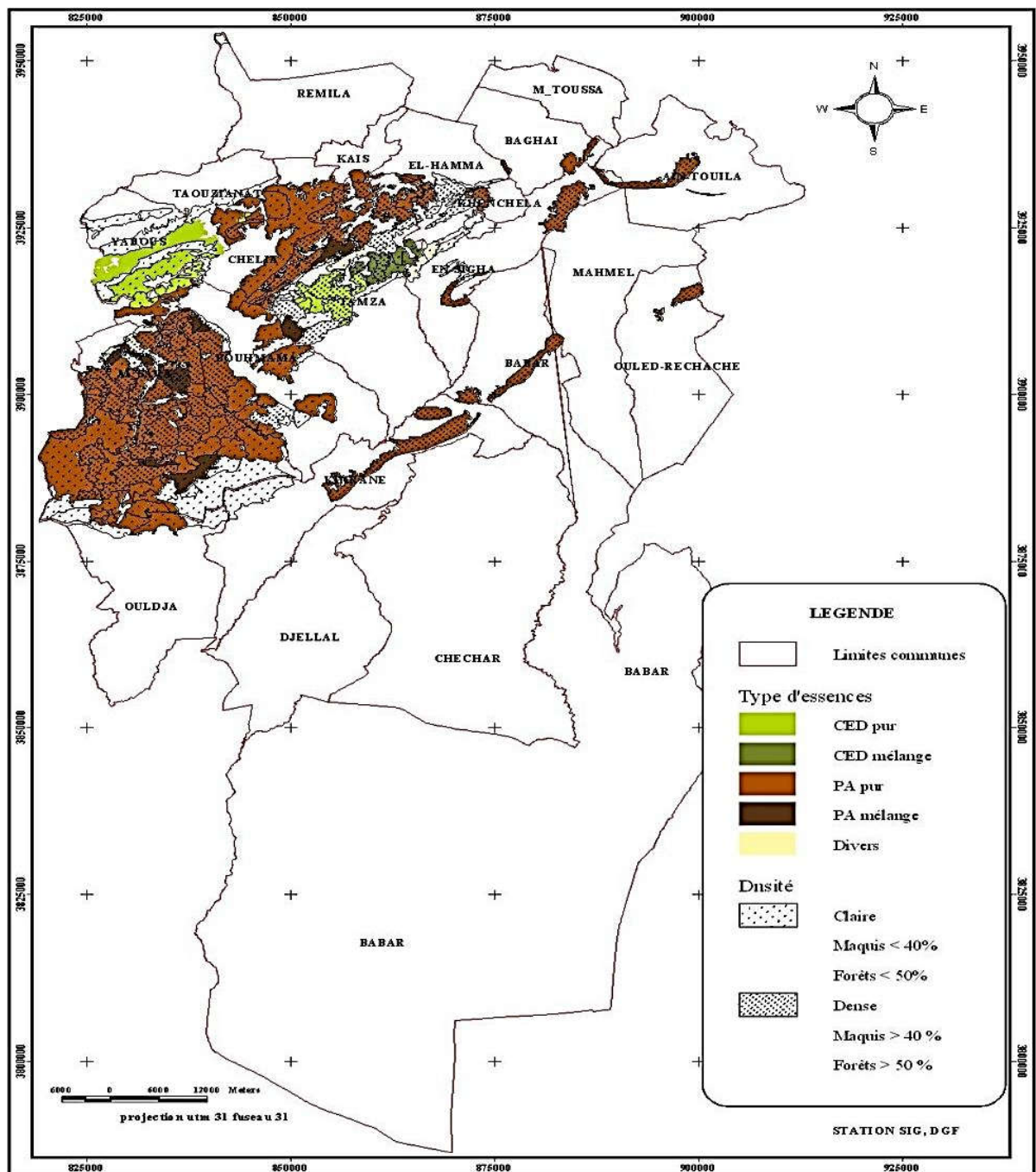
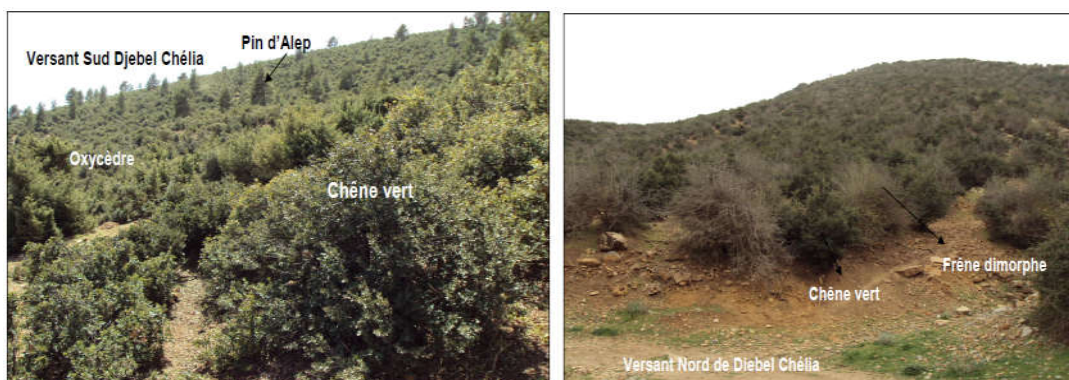


Figure 12: carte d'essences de Khenchela

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

### I.3.3.1. Le chélia:



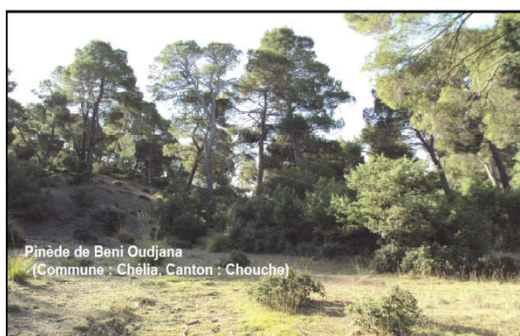
**Photo 1 : Versant Sud de DjbalChélia Photo 2 : Versant Nord de DjbalChélia**

Est une montagne à l'est de l'Algérie. Il constitue le plus haut sommet de la chaîne montagneuse des Aurès, à la limite de wilaya de Batna et de la wilaya de Khenchela. Il culmine à 2328 mètres d'altitude. Le mont chélia est la deuxième plus haut sommet montagneux d'Algérie après le mont Tahrat de hoggar et le plus haut régulièrement couverte de neige.

Les trois principales essences qui peuplent le massif du chélia sont :

1. Le cèdre reste quand même important notamment dans ces parties supérieures où la densité est homogène et dépasse 75%. [13]
2. la deuxième essence que comporte cette coupe est le chêne qui vue sa grande capacité écologique, commence à s'installer à partir de 1100m et se prolonge jusqu'à l'altitude de 1850m sur le versant nord, où il s'associe avec le cèdre. Sur le versant sud, le Chêne-vert monté puisqu'il s'arrête vers 1750m. il pousse sur différents types de sols.
3. Autre essence présente dans le secteur, le pin d'Alep, Mais for existence très réduite sur le chélia augure déjà des caractéristique de l'arbre du semi-aride. Il représente moins de 5% sur notre coupe et est surtout concurrence par le chêne-vert très densément représenté (environ 60%) avec qu'il est associé surtout dans la fourchette 1100 à 1500m d'altitude. [13]

### I.3.3.2. La forêt d'Ouled Oudjana:



**Photo 3 : pinède de Beni Oudjana**

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

Qui occupe environ 44000 ha dont 26400 ha de pin d'Alep 13200 ha de chêne-vert et 3000 ha de cèdre. Ce dernier se localise sur le djebel chelia. La forêt de pin d'Alep de OuledOudjana est très belle forêt, il beaucoup d'espaces sont encore considérées comme vierges et n'ont pas encore exploités la densité est de 100 à 130 arbres/ha.

### I.3.3.2 Massif de Beni Imloul et massif d'OuledYagoub:

Les deux communes mitoyennes de M'Sara et Bouhmama, avec respectivement 750 Km<sup>2</sup> et 409 Km<sup>2</sup> constituent plus de 10% de la superficie du territoire de la wilaya. De par position géographique, elle touchent les trois principaux massif forestiers/Aurès Est, Beni Imloul et ouledyagoub ), mais elles offrent les meilleurs forêts et sur 51,34% de la superficie forestière total de la wilaya au 2007/2008. [12].

#### I.3.3.3.1 massif de Beni Imloul :

Qui commence à Tizi En Nouada vers 1580 m d'altitude et se Termine Vers l'oued El Arab à 700 m en passant par Rastfount à' 1350m et le Djebel. Toubount (1559 m). En ce qui concerne les précipitations elles sont en moyenne de l'ordre de 500 mm/an avec les pics de plus de 800 mm sur certain sommets. La température augmente du sud le nord en fonction de la latitude.

Elle est de loin la plus importante en superficie car elle englobe des espaces considérables estimés à 60000 ha. Elle est constituée d'arbres très denses de l'ordre de 100 à 120 arbres à l'hectare dans sa partie Nord et de 60 à 80 arbres sa partie Sud. [13].

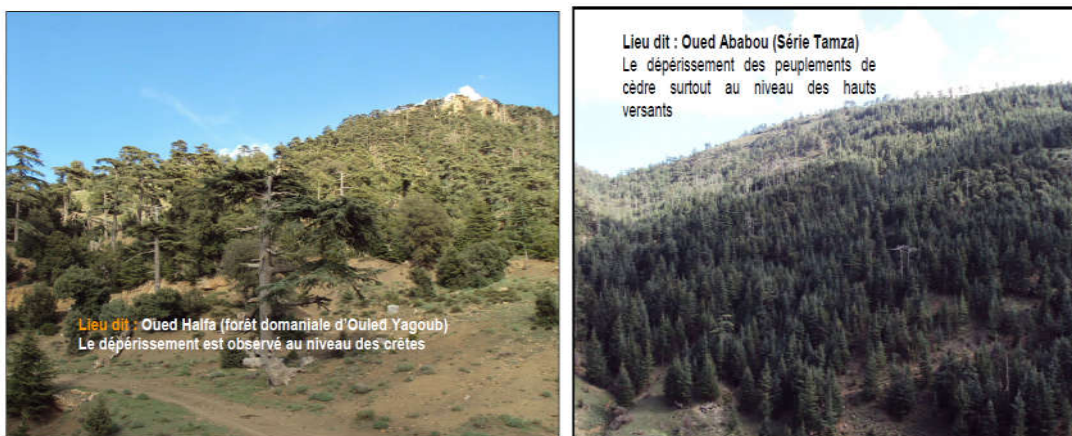
Le tableau 4 est présente les superficies de chaque classe d'occupation de sol des massifs de Beni Imloul entre 1987 et 2014.

**Tableau 4: Les superficies de chaque classe d'occupation du sol du massif de Beni-Imloul entre 1987 et 2014.**

Massif des Beni Imloul	1987		2014	
	Superficie			
Classes	ha	%	ha	%
Pin d'Alep	53075	47.90	35718	32.23
Chêne-vert	36019	32.50	30320	27.36
Végétation herbacée	3275	2.96	21650	19.54
Arboriculture	25	0.02	104	0.09
Sol nu	10836	9.78	12640	11.41
Affleurement rocheux	7582	6.84	10373	9.36

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

### I.3.3.3.2 massifs d'OuledYagoub:



**Photo 4: Forêt domaniale d'Ouled Yagoub**

Cette forêt qui fait partie de la grande masse des deux présidents couvre d'une superficie de 22000 ha. Elles sont couvrent une superficie de fin d'Alep de 9000 ha et une superficie similaire de chêne-vert ainsi qu'environ 3000 ha de cèdre. Là aussi beaucoup de similitude avec de Beni Ouadjana sur la densité on la longévité de l'arbre. Leur régénérations et qui aussi - parfaite le volume à l'hectare et l'accroissement sont plus fort qu'aux Beni Imloul. [14]

Le Tableau suivante est présentée les superficies de chaque classe du massif de Ouled Yagoub entre 1987 et 2014.

**Tableau 5: Les superficies de chaque classe d'occupation du sol du massif d'Ouled Yagoub entre 1987 et 2014.**

Massif des Beni Imloul	1987		2014	
	Superficie			
Classes	ha	%	ha	%
Pin d'Alep	21538	47.05	15499	33.86
Cèdre de l'Atlas	3350	7.32	1844	4.03
Chêne-vert	7723	16.87	9793	21.39
Zone incendie	0	0.00	426	0.93
Végétation herbacée	1377	3.01	4163	9.09
Arboriculture	62	0.14	72	0.16
Sol nu	9239	20.18	10603	23.16

(La figure 12 dans le titre "Description de la forêt de Khenchela")

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

### I.3.3.3. Classements des pentes de deux massifs Beni Imloul et Ouled Yagoub

Les deux massifs sont caractérisés par une grande variabilité tant climatique que topographique. Les paramètres changent changeant selon L'altitude, l'exposition et la pente. L'altitude maximale est de 1749 m aux Beni Imloul alors qu'elle culmine à 2160 m aux Ouled Yagoub. (Tableau ci-dessus). [14]

**Tableau 6: classes des pentes de deux massifs:**

Classe de pentes (%)	Intitulé de la classe	Superficie	
		Ouled Yagoub	Beni Imloul
[0-0.5[	Horizontal	0.05	0.07
[0.5-2[	Subhorizontal	0.07	0.90
[2-5[	Très faible	6.38	6.79
[5-10[	Faible	18.44	21.67
[10-15[	Modéré	16.68	22.97
[15-30[	Forte	33.43	36.17
[30-45[	Très forte	15.65	8.71
[45-70[	Extrême	7.48	2.51
[70-10[	Abrupte	1.10	0.21
>100	Très abrupte	0.02	0.02
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>

Les espèces prédominantes sont le cèdre de l'Atlas en versant nord et en haute altitude, le pin d'Alep en moyenne altitude et le chêne-vent de végétation est beaucoup plus hétérogène, et plus d'inverse al Ouled Yagoub, qu'aux Beni Imloul.

### I.4. Les causes de dégradation de la forêt Algérienne :

En 1997, la surface boisée globale était de 3.970.000 ha, la surface détruite entre 1955 et 1997 est de 1,030.00 ha (soit 24.000h) le taux de déforestation est de 21% en 42 ans, et c'est surtout la forêt en bon état que disparaît (58% en 42 ans), la forêt est remplacée par des broussailles et des reboisements qui présentent des signes de dégradations plus aux moins récents. La superficie forestière est aujourd'hui estimée à 2.300.000 ha ce que représente le tiers de l'aire-géoclimatique évaluée à 7000.000 ha. Les facteurs contribuant à la déforestation sont les suivants:[15]

## Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"

**1. Le supaturage :** la forêt sert des parcours permanent prend les saisons de neiges par les éleveurs du Nord. Elle est aussi terre de Transhumance pour les troupeaux steppiques. On dénombre en forêt 960.000 bovins, 600.000 Caprins et 4.2 million d'ovins. [15]

Le supaturage n'en serait que excessif et dépasserait certainement le 1 ovin par hectare comme nous le constatons dans le tableau

**Tableau 7: le supaturage dans les communes de Khenchela**

Commune	bovins	ovins	caprins	Total
Bouhmama	2100	9000	7800	18900
Chélia	792	8012	13000	21804
M'sara	740	13012	12000	25752
Ybous	1416	15126	3528	21486

**2. Coupes de bois:** suite à la hausse du prix du bois, les coupes illicites du bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie. Ce coupes touchent les arbres ayant les meilleurs caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines.

**3. L'érosion :** l'érosion des sols en Algérie affecte les systèmes naturels, cultivés ou pâturés. En plus de ces facteurs naturels liés au régime pluviométrique, au relief, à la nature des formations géologiques et à la couverture végétale.

**4. Le tourisme :** le tourisme et les usages récréatifs qui nécessite l'aménagement de voies de circulation, de stations, ...etc. augmentent les risques d'incendie et affectent les zone bouées.

**5. Les incendies :** De 1985 à 1994, 920.000 ha de couverts forestiers ont brûlé, dont 477.629 ha en dix ans (301.780 ha de forêts, 91.566 ha de maquis et 82.746 Ha de broussailles), soit l'équivalent de 30.000 ha/an de vraie forêt, Malgré les capacités de régénération de la forêt. [15].

## **Chapitre I: "Intérêt des forêts et présentation de la forêt de Khenchela"**

---

### **Conclusion:**

Comme mentionné ci-dessus, les forêts jouent un rôle vital dans la vie humaine soutiennent les moyens de subsistance locaux, et contribuent à la croissance de l'économie nationaux, mais il y a une dégradation significative de forêts. Parmi ces facteurs sont les incendies.

# **Chapitre II :**

## **Les incendies des forêts**

## **Introduction**

### **II.1. Définition**

II.1.1. le feu

II.1.2. L'incendie

II.1.3. L'Inflammabilité

II.1.4. Combustibilité

### **II.2. le comportement du feu**

II.2.1 Le combustible

II.2.2 Le comburant (O<sub>2</sub>)

II.2.3 Énergie d'activation (la chaleur)

### **II.3 Différent types de feu**

### **II.4 Facteurs influençant la propagation d'un feu de forêt**

II.4.1. Influence de la végétation

II.4.2 Influence de relief et de la déclivité du terrain

II.4.3 L'influence du vent

II.4.4. Combinaison du relief et de vent

### **II.5. Historiques des feux de forêts en Algérie**

II.5.1 Pendant la période coloniale 1876-1963

II.5.2. Après l'indépendance 1963-2012

### **II.6 Les incendies de forêts in Wilaya de Khenchela**

### **II.7. Les causes des incendies de forêt**

II.7.1 Les causes naturelles

II.7.2. Les causes anthropiques

### **II.8. Le risque d'incendie de forêt**

II.8.1 Définition "Risques"

II 8. 2. Analyse de risque

II.8.3. L'étude du risque de feu de forêt

II.8.4. Carte de risque de départ de feu des forestiers de Khenchela

II.8.5. Les conséquences d'un feu de forêt

## **Conclusion**

**Introduction:**

Les incendies affectent directement les écosystèmes, la santé humaine et peuvent contribuer à des niveaux élevés d'émissions de gaz à effet de serre.

Les incendies réduisent également la capacité des forêts à séquestrer le gaz carbonique. Il est nécessaire de connaître les causes l'origine des incendies.

## II.1. Définition :

### II.1.1. le feu:

Le feu est défini comme étant un dégagement simultané de chaleur, de lumière et de la flamme produite par la combustion vive dans certains corps (bois, feuilles, tapis herbacé,... etc.). [9]

### II.1.2. L'incendie :

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace, par forêt, il faut entendre, en plus des forêts au sens strict, l'ensemble des formations végétales dégradées de substituants [16]

### II.1.3. L'Inflammabilité :

C'est la propriété à s'enflammer qui possède un végétal, dès qu'une source de chaleur entre en contact avec lui. Elle est mesurée de façon conventionnelle par un épi-radiateur [16].

### II.1.4. Combustibilité:

Elle est définie comme étant la manière dont brûlent les végétaux une fois qu'ils sont enflammés. [17]

## II.2. le comportement du feu:

Le comportement du feu décrit le processus d'éclosion, de propagation, le développement et éventuellement de régression et d'extinction d'un feu de forêt. [18]

Pour qu'il ait inflammations et combustion, trois facteurs doivent être réunis : comburant, combustible et énergie d'activation (fig. 13).

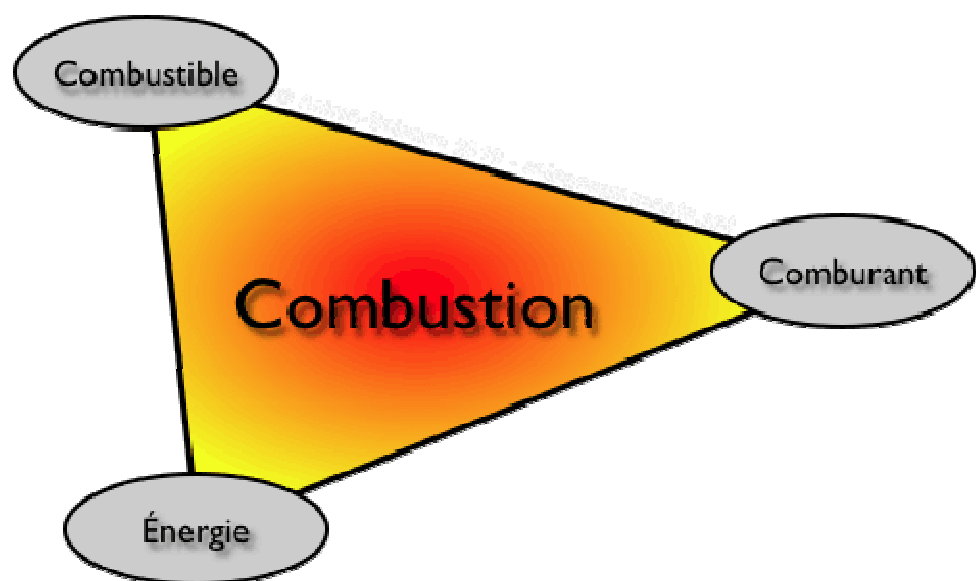


Figure 13: Triangle du feu.

### II.2.1 Le combustible:

La végétation forestière et subforestière, la forêt sera d'autant plus combustible que les constituants du milieu (litière, strate herbacée, strate arbustive, strate des ligneux hauts (voir fig. 5)) auront une teneur en eau faible (variable avec le niveau de sécheresse, le stade végétatif, la présence d'arbres secs suite à des chablis ou des maladies ... etc.), que ses strates seront riches en essences volatiles ou en résines. [19]

### II.2.2 Le comburant (O<sub>2</sub>):

C'est un corps qui en se combine avec un combustible et permet la combustion (oxygène, air,...) [21]. Dans le cas des feux de forêts, il s'agit de l'oxygène de l'air. La combustion dépend également fortement de cet élément, puisque pour qu'une flamme se produise et s'entretienne, il faut que le pourcentage en volume d'oxygène présent dans l'air, soit supérieur à 15,75% pour que les braises se consomment, il faut qu'il soit supérieur à 10,5% [21].

Indispensable à la combustion, cet élément est fourni par la réaction elle-même, c'est-à-dire, la combustion, car celle-ci produit son propre courant d'air, de plus le vent contribue très largement à l'approvisionnement en oxygène. (fig 13)

### II.2.3 Énergie d'activation (la chaleur):

La chaleur est la température à partir de laquelle les combustibles prennent feu, cette température est appelée "point d'inflammation", elle est située entre 400 et 425 C° [22]. Avec les combustibles forestiers, un apport extérieur de chaleur n'est nécessaire que pour amorcer le phénomène de combustion, une fois les matériaux en ignition, on observe un grand dégagement de chaleur est une forte température qui peut atteindre Jusqu'à 1250 C°, température enregistrée à un mètre des sols. [23]

## II.3 Différent types de feu :

Un feu peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques dans lequel il se développe:

**a. les feux de sols:** ils brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus les tourbières, alimentés par incandescence avec combustion, ces feux en une faible vitesse de propagation.

**b. Les feux de surface:** ils consomment les strates basses de la végétation et se propagent en général par rayonnement ou convection. Ils affectent les garrigues ou les landes.

**c. Les feux de cimes :** ils atteignent la partie supérieure des arbres (ligneux hautes) et forment une couronne de feu qui libère en général de grandes quantités d'énergie. Leur vitesse de propagation est très élevée et ils sont particulièrement intenses et difficiles à contrôler lorsque le vent est fort et le combustible sec.

**d. Feux de braises :** Les braises sont produites par des feux de cimes ou pour certaines conditions de vent et de topographie. Ces braises sont transportées à distance et sont alors à

l'origine de foyer secondaires, les grandes branchons peuvent brûler longtemps et être transportés très loin (Jusqu'à 10 au 20 Km dans les cas exceptionnelles). [24]

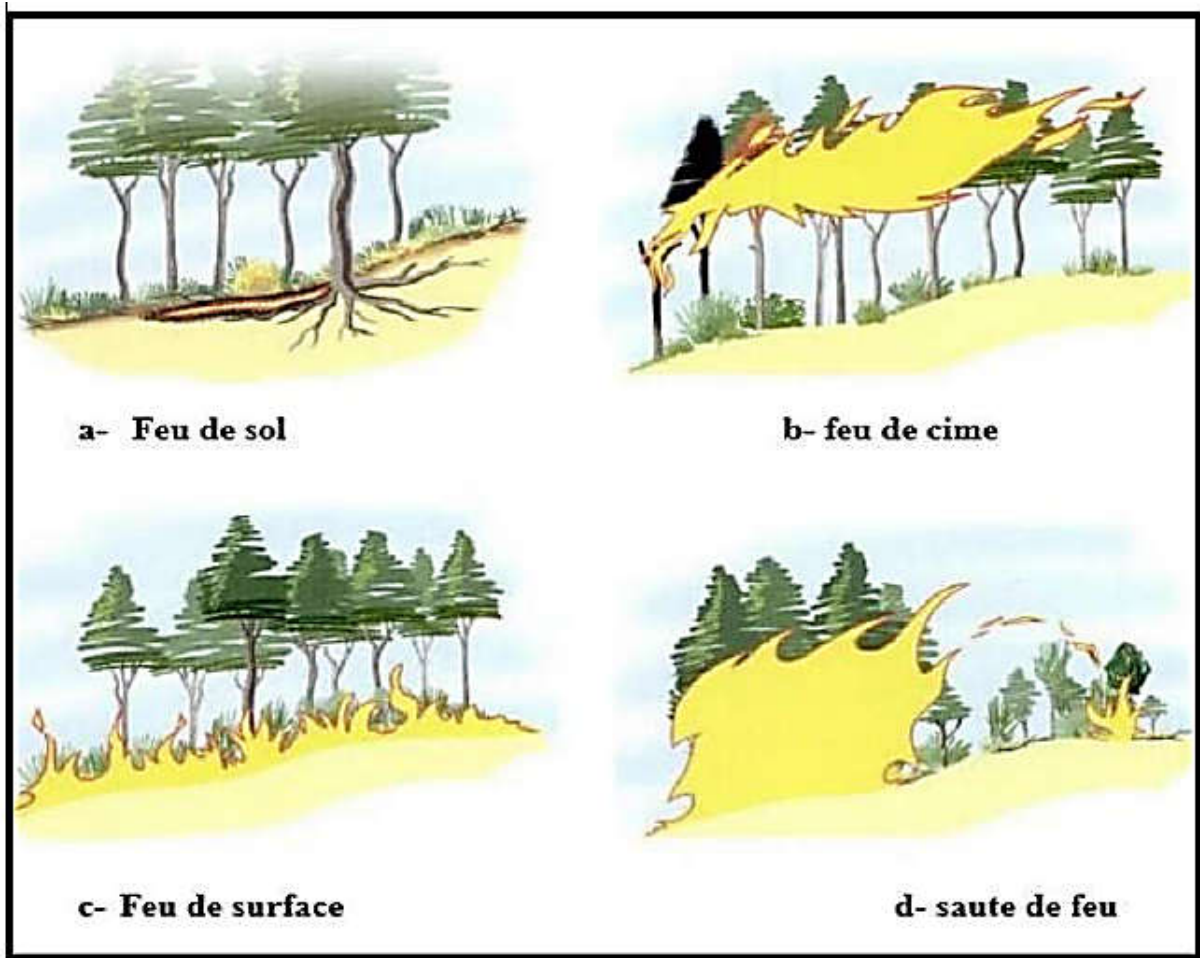


Figure 14: Différents types des feux de forêts

## II.4 Facteurs influençant la propagation d'un feu de forêt :

Le mode de transfert de chaleur dans un écosystème est constamment modifié par les facteurs de l'environnement qui influencent ainsi la propagation du feu.

### II.4.1. Influence de la végétation :

La végétation va permettre au feu de se développer et de se propager d'un combustible à l'autre. La hauteur de la végétation accroît la hauteur des flammes et la virulence de feu. Son état de sécheresse et sa densité augmentent respectivement l'inflammabilité et la puissance du feu. Plus la végétation est haute, dense, sèche et continue, plus le feu sera violent et difficile à maîtriser par les services de lutte incendies. (Selon les strates de végétation et les différents types de feu). [25]

### II.4.2 Influence de relief et de la déclivité du terrain :

Le relief influe fortement sur la direction et la vitesse de propagation du feu. Ainsi la quantité de chaleur transmise aux combustibles est liée au relief. En amont du feu, les combustibles

reçoivent beaucoup plus de chaleur car ils sont sur le trajet des courants d'air chaud ascendants qui montent le long de la pente. [26].

### II.4.3 L'influence du vent:

Le vent attise les flammes en augmentant le flux d'oxygène, oriente la propagation et transporte des particules incandescentes au - delà du front de flammes. Surtout, le vent courbe les flammes ce qui réduit la distance entre le front de flammes et la végétation situés devant l'incendie. Cet effet desséchant et chauffe les combustibles de sorte que la vitesse de propagation en est accéléré.

### II.4.4. Combinaison du relief et de vent:

Sous l'effet du vent, les flammes sont plaquées contre le versant ascendant, un front de feu monte en direction de la crête. Aussi dans pente et sur la crête, l'intensité du feu est maximale, la zone est excessivement dangereux aussi bien pour les habitants que pour les secours. [25].

## II.5. Historiques des feux de forêts en Algérie :

L'Algérie est l'un des rares pays possédant des statistiques sur les feux de forêts sur une période de plus d'un siècle. La figure suivante représente une série chronologique de 137 ans des surfaces parcourus. [27]

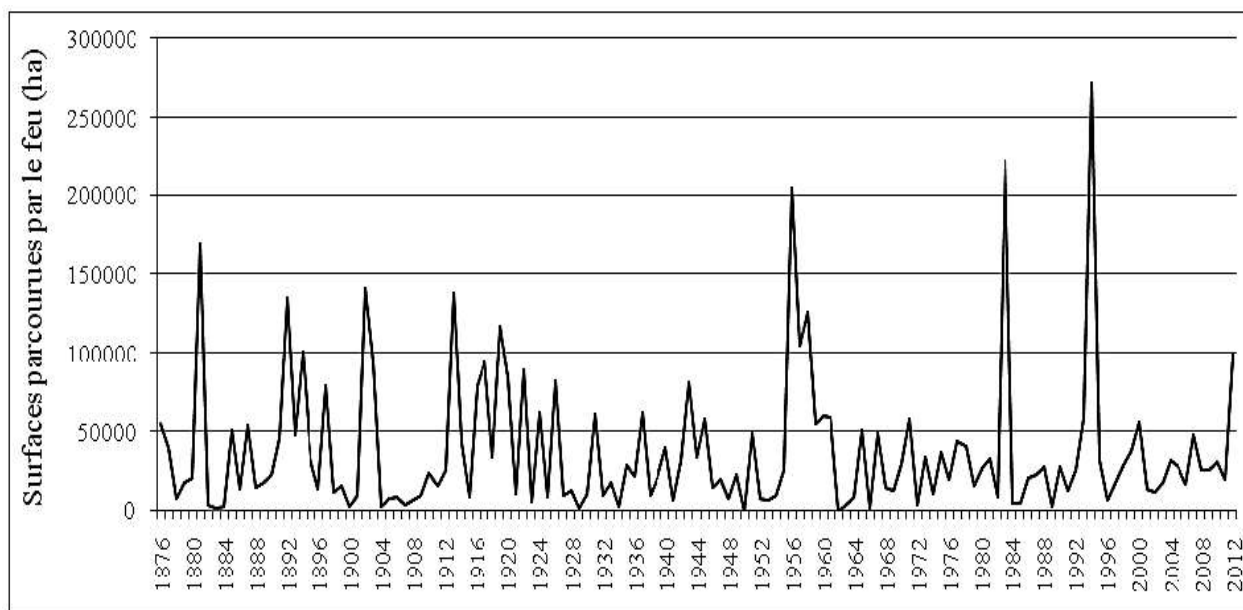


Figure 15: Evolution annuelle des superficies parcourues par le feu en Algérie (période 1876-2012)

### II.5.1 Pendant la période coloniale 1876-1963:

On constate que la période coloniale a été désastreuse une surface cumulée de 3506942 ha a été parcourue par le feu, sur une période de 87 ans (1876 - 1962) soit une moyenne de 41958 ha/an (exceptionnellement de plus de 150000, voire 200 000 ha). En 1880, 1892, 1902, 1913,

1919, 1976, 1954, et 1938, marquent des années noires qui coïncident (correspondre) en général avec des époques troubles (insurrections, période de guerre 1954- 1961). [27]

### II.5.2. Après l'indépendance 1963-2012:

La forêt algérienne a certes connu une légère accalmie, puisque les superficies brûlées en diminué par rapport à la période colonial, ou la moyenne annuelle était, rappelons-le de plus mais pendant certaines années réfastes, en particulier 1965, 1967, 1971, 1978, 1993 et 2000, la forêt algérienne á été soumise á de grandes feux, dépassant largement la moyenne de la période considéré, soit entre 40.000 ha et 60.000 ha. [28]

Trois d'entre elles ont particulièrement catastrophiques : 1963, 1994, 2012 avec respectivement 221367 ha, 271598 ha et 99061 ha parcourus. [27]

Le risque feria de forêt se concentre surtout les wilayas littorales du Nord-Est algérien, de TiziOuzou a El-Taref, correspondant à des wilayas très boisées et accidentées, avec une forte densité de population et un manque de terres pour l'urbanisation. [27]

### II.6 Les incendies de forêts in Wilaya de Khenchela:

L'autre état de Khenchela est endommagé par les incendies de forêt, comme le montrent les statistiques présentées dans le tableau suivante :

**Tableau 8. Bilan des incendies de forêts (1981-2018).**

Année	Superficie incendie en hectare	Nombre de foyers
1985	92,98	14
1986	11,81	9
1987	13,86	6
1988	3,37	30
1989	0	0
1990	3,85	6
1991	11,85	10
1992	26,37	27
1993	616,1	18
1994	615,26	16

<b>1995</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>1996</b>	<b>64,38</b>	<b>10</b>
<b>1997</b>	<b>71,77</b>	<b>21</b>
<b>1998</b>	<b>14,55</b>	<b>8</b>
<b>1999</b>	<b>12,28</b>	<b>27</b>
<b>2000</b>	<b>13,87</b>	<b>13</b>
<b>2001</b>	<b>151,57</b>	<b>27</b>
<b>2002</b>	<b>45,1</b>	<b>10</b>
<b>2003</b>	<b>11,6</b>	<b>10</b>
<b>2004</b>	<b>4,28</b>	<b>5</b>
<b>2005</b>	<b>7,58</b>	<b>14</b>
<b>2006</b>	<b>11,03</b>	<b>6</b>
<b>2007</b>	<b>63</b>	<b>26</b>
<b>2008</b>	<b>185,67</b>	<b>22</b>
<b>2009</b>	<b>3000</b>	<b>12</b>
<b>2010</b>	<b>11,5</b>	<b>13</b>
<b>2011</b>	<b>71,13</b>	<b>21</b>
<b>2012</b>	<b>15719</b>	<b>37</b>
<b>2013</b>	<b>42,62</b>	<b>38</b>
<b>2014</b>	<b>196,91</b>	<b>42</b>
<b>2015</b>	<b>5,919</b>	<b>11</b>
<b>2016</b>	<b>32,197</b>	<b>41</b>
<b>2017</b>	<b>238,1045</b>	<b>53</b>
<b>2018</b>	<b>404,1746</b>	<b>30</b>
<b>Total</b>	<b>21773,6851</b>	<b>633</b>

Selon les statistiques présentées dans le tableau, on note l'événement catastrophique des incendies de forêt s'est produit 2012 avec le plus grand incendie de forêt de Beni Imloul dans la commune M'sara tels que la superficie: 15000 ha soit 95% du Total de la wilaya et 15% du bilan global 2012 qui est de 99061 ha.

Sauf pour les années 1989 et 1995 aucun incendies n'a été enregistrées.

La plupart des incendies de forêts comprennent des forêts publiques (Domaniales) qui sont la superficie brûlée par les forêts dominicales est beaucoup plus grande que la forêt privée.

Selon la conservation des forêts de la wilaya de Khenchela le tableau suivante montre la superficie parcourus par le feu domaniales période (2012 – 2019);

**Tableau 9: la superficie parcourus par le feu de forêt Domaniale**

Année	Superficie parcourus par le feu de forets domaniale				
	Forets	Maquis	Broussailles	ALFA	Autre
<b>2012</b>	15683.9	0	0.002	35.14	0
<b>2013</b>	24.51	0	4.5618	12.5	0
<b>2014</b>	68.131	112.825	7.710	8.250	0
<b>2015</b>	3.26	0.6	0.064	2	0
<b>2016</b>	18.1977	0.765	2.095	11.14	0
<b>2017</b>	107.1915	1.055	6.675	123.2010	0
<b>2018</b>	283.9746	0.022	2.840	117.3380	0
<b>2019</b>	29.9200	1.050	42.540	71.395	0

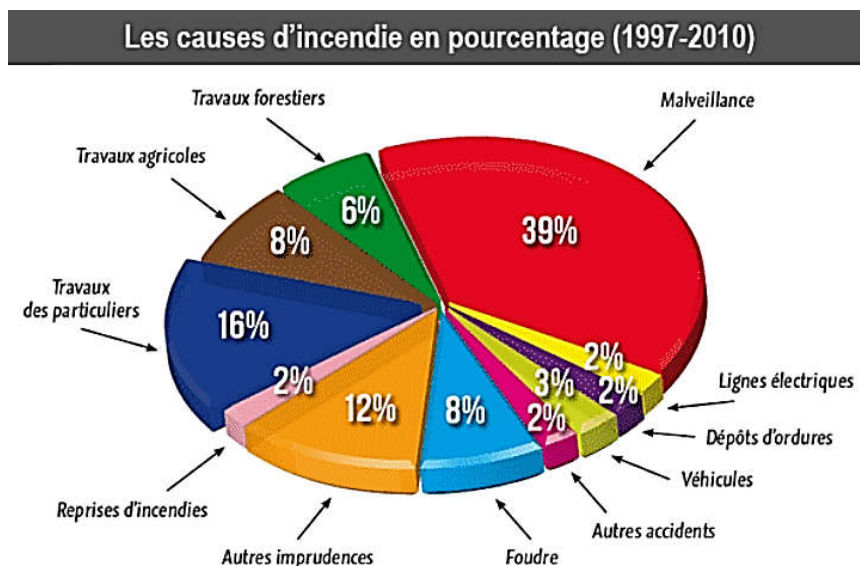
Selon la même source, la superficie parcourus par le feu des forêts privées sont nuls pour toutes les formations de végétations (forêts, Maquis, broussailles e ALFA et autre...).

C'est ce qui nous fait réfléchir, quelles sont les causes qui génèrent des incendies de forêt, que ce soit en Algérie ou dans les pays du monde en général ?

**II.7. Les causes des incendies de forêt :**

Généralement, l'été est la période de l'année la plus favorable au feu de forêt, car cause effet conjugués de la sécheresse et d'une faible teneur en eau des végétaux s'ajoute une forte fréquentation de ces espaces. Lorsque la Température est élevée et que la pluie vient à manquer, une large part de l'eau contenue dans les tissus des plantes qui constituent les forêts

s'évapore. Les feuilles constituent alors un combustible de choix, d'autant qu'elles offrent une large surface de contact avec le comburant oxygène, la moindre étincelle peut alors venir enflammer des brindilles, puis des herbes sèches, des buissons, des arbres et enfin la forêt tout entière. [29]



**Figure 16: les causes d'incendies de forêt (1997-2010)**

Grâce à la figure ci-dessus, les causes peuvent être divisées en deux parties principales: Des causes naturelles et anthropiques

### II.7.1 Les causes naturelles :

Moins de 10% des départs de feu de forêts seraient d'origine naturelle, C'est généralement la foudre est à l'origine de 4% à 7% des départs de feux, notamment en plein cœur des massifs et lors des mois les plus chauds de l'année. [29]

### II.7.2. Les causes anthropiques :

Les facteurs anthropiques ont un rôle prépondérant dans le déclenchement des incendies de forêt. On peut classer les causes d'origine humaine en cinq grandes catégories. [30]

- **Les causes accidentelles:** provenant des infracteurs de transport comme le chemin de fer ou les automobiles, les lignes électriques et de dépôts d'ordures, dans lesquels des feux peuvent couvrir.
- **L'imprudence :** par des jets de mégots, de cigarette mal éteint jeté au sol, des pique-niques en forêt ou de jeux d'enfant, un barbecue mal maîtrisé.
- **Les travaux agricoles et forestiers:** au cours desquels des feux mal maîtrisés peuvent se propager.
- **Les loisirs :** qui accroissent le risque de départ de feux lorsqu'ils sont pratiqués dans de forêt ou de garrigue (comme les calanques dans la région de Marseille).

- **La déprise agricole:** le déclin des activités agricoles et pastorales et L'abandon des espaces ruraux favorisent L'extension des friches, zones potentielles de départs d'incendie
- **L'urbanisation:** En effet, les zones de contact entre nature et société sont plus nombreuse du fait de l'extension de l'urbanisation de l'interpénétration des espaces végétalisés et urbanisés et souvent du manque d'entretien des coupures naturelle de combustibles.

Les nombreuses activités humaines telle que les travaux agricoles ou forestiers, les transports, les loisirs, en contact avec les espaces naturels, contribuent au déclenchement des incendies de forêts.

Ainsi, les interfaces habitat / forêt peuvent être perçues à la fois comme vulnérables au feu comme sources d'aléa.

## II.8. Le risque d'incendie de forêt:

### II.8.1 Définition "Risques" :

Généralement le risque incendies est plutôt classé dans le risque technologiques mais, il est aussi certaines cas particuliers être considéré comme un risque naturel par exemple survient à la suite d'un incendie de forêt. [31]

Le risque comme produit de l'aléa et de vulnérabilité.

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$$

Le risque est composé de différents éléments imbriqués (Tab 10). [16]

**Tableau 10: Les éléments du risque incendie de forêt: (Jappiot et al 2002).**

Risque					
Aléa				vulnérabilité	
Occurrence		Intensité		Enjeu	Parade
Probabilité d'éclosion	Probabilité d'incendie	Surface menacée	Intensité de l'incendie		

1. **L'aléa :** est défini comme la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produit en un lieu. Deux notions sont précisées la probabilité d'occurrence et l'intensité. [16]

**1.1. La probabilité d'occurrence:** Elle se manifesta sous deux aspects:

- **La probabilité d'éclosion:** Elle s'exprime généralement en nombre de feux par unité' de temps.
- **La probabilité d'incendie :** la probabilité d'incendie peut s'exprimer soit en probabilité annuelle de connaître un incendie (une chance sur n année), soit en durée de retour de l'incendie / un feu toutes les n années).

### **1.2. L'intensité:**

L'intensité représente la quantité de chaleur ou d'énergie déployée par le feu. Il est également possible d'appréhender la notion d'intensité en définissant pour chaque point de départ potentiel la surface qui il menace. [16]

### **2. La vulnérabilité:**

La vulnérabilité correspond aux “conséquences prévisibles d'un phénomène naturel d'intensité donnée sur les enjeux”. Elle est donc fonction de deux éléments: Les enjeux et les parades. [16]

#### **2.1. L'enjeu :**

Les enjeux sont l'ensemble des biens exposés pouvant être affectés par un phénomène naturel. Par rapport autres phénomènes naturels, il faut ajouter aux enjeux naturels et humains les enjeux spécifiques des feux de forêt, liés à la forêt et à ses usages.

#### **2.2. Parade:**

Les parades sont les moyens de prévention, d'équipement et de lutte dont la mise en œuvre séduit le taux d'endommagement des enjeux. On peut distinguer les parades actives (moyens de DFCI et moyens de lutte, et les parades passives (débroussaillage, pare-feu,...etc.) ces deux types de parades visent à diminuer les conséquences des sinistres. [16]

### **II.8.2. Analyse de risque**

- Si un incendie de forêt a de fortes probabilités de se déclarer ou de se propager en un lieu donné, on dit alors que l'aléa feu de forêt est élevé.
- Si un incendie peut causer des dommages sur certains biens (enjeux) du territoire concernée (habitation équipement, patrimoine), on parle, alors la vulnérabilité de ces enjeux.

### **II.8.3. L'étude du risque de feu de forêt :**

L'étude des incendies de forêt repose sur une connaissance précise des facteurs contribuant aux phénomènes, et les risques et enjeux sont appréhendés à travers plusieurs critères qui sont utilisés individuellement ou en combinaison

**II.8.3.1 Des paramètres topographique:**

La topographie est une variable constante, c'est-à-dire qu'elle ne varie pas dans le temps. On peut donc facilement de terminer son influence.

Trois paramètres topographiques influents les incendies de forêt à savoir:

**a. L'élévation du terrain :**

C'est un facteur physiographique important qui est lié au comportement du vent et affecte donc la prudence de feu [32]. Le feu se déplace la plus rapidement vers le haut de la pente et le moins rapidement vers le bas de la pente.

**b. L'inclination des pentes:**

C'est un indicateur du taux de changement d'élévation (degrés). La pente affecte à la fois la vitesse et la direction de propagation du feu. Les incendies se déplacent généralement plus rapidement en montée qu'en descente. [33]

**c. L'exposition de la pente : "Aspect":**

Décrit la direction du taux maximum de changement d'élévation entre chaque cellule et ses voisins. Une pente avec un aspect est recevra la lumière directe du soleil plus tôt dans la journée qu'une pente reçoit moins de soleil qu'une pente orientée au Sud. Ainsi, les aspects Sud reçoivent plus de chaleur directe du soleil, asséchant à la fois le sol et la végétation

**II.8.3.2 Paramètre de végétation :**

La végétation doit être prise en compte car certains types de végétation sont plus inflammables que d'autres, augmentant ainsi le risque d'incendie les carburants représentent la matière organique disponible pour l'allumage et combustion des feu. [34]

Le risque du carburant est déterminé sur la base type de couverts végétaux et densité du couvert forestier. À mesure que la quantité de matière inflammable dans une zone donnée augmente (par exemple en raison de l'accumulation de litière), la quantité de chaleur produite par le feu augmente également.

**II.8.3.3 Les paramètres climatiques :**

Des facteurs climatiques influençant le comportement des incendies de forêt sont:

**a. La température:**

La principale source de chaleur est le soleil, les combustibles exposés au soleil se réchauffent plus rapidement que ceux sous couvert forestier.

Température moyenne du quantité le plus chaud : une température plus élevée rend les carburants très sensibles aux incendies, principalement en raison de la sécheresses.

**b. Le vent : “ la vitesse de vent”:**

Le vent augmente la combustion et la propagation en: [35]

- Augmentant l'apport est en oxygène.
- Asséchant les combustibles.
- Favorisant le réchauffement des combustibles à l'avant du feu
- Influençant la direction de propagation de feu.
- Transportant les étincelles ou autres matières enflammées sur de grandes distances.

**c. L'humidité relative:**

C'est la propagation, exprimé en pourcentage, entre la vapeur d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption de l'air à une température donnée. Elle n'agit pas directement sur le phénomène d'opposition des incendies, mais elle conditionne la teneur en eau des combustibles.

En plus d'autres facteurs qui augmentent la gravité des incendies comme: **Précipitation et évapotranspiration.**

**II.8.3.4. les paramètres socio-économiques :**

Parce que la majorité de la population vit dans des zones rurales où le bois de feu, ainsi que les résidus des cultures, fournissent la plupart des besoins énergétiques, il existe des indicateurs socio-économiques qui combinaient des mesures anthropiques avec des paramètres forestiers et agricoles comme facteur de causalité de feu. Ces variables comprennent:

**- Les activités humaines :**

Cela inclut les travailleurs agricoles qui prennent la forêt comme lieu de pâturage, de sorte que plus le pâturage et proche de la forêt, plus le risque d'incendie est élevé et donc le risque affecte le bétail

**- Densité de la population**

Plus la densité de la population, plus la dépendance aux ressources forestières environnante, ainsi, la possibilité d'incendie augmente.

Ceci est en plus de la distance au zone d'habitat, la où la distance est plus proche de la forêt, le risque d'incendie augmente.

Nous avons utilisé certains de ces indicateurs mentionnés ci-dessous que contribuaient à augmenter le risque d'incendie pour l'état de Khenchela.

II.8.4. Carte de risque de départ de feu des forestiers de Khenchela

La figure (17) nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif (sensibilité) la probabilité d'occurrence des feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Khenchela. D'après résultats obtenus les classes de risque (classes des sensibilités) élevé et très élevé (sensible et très sensible).

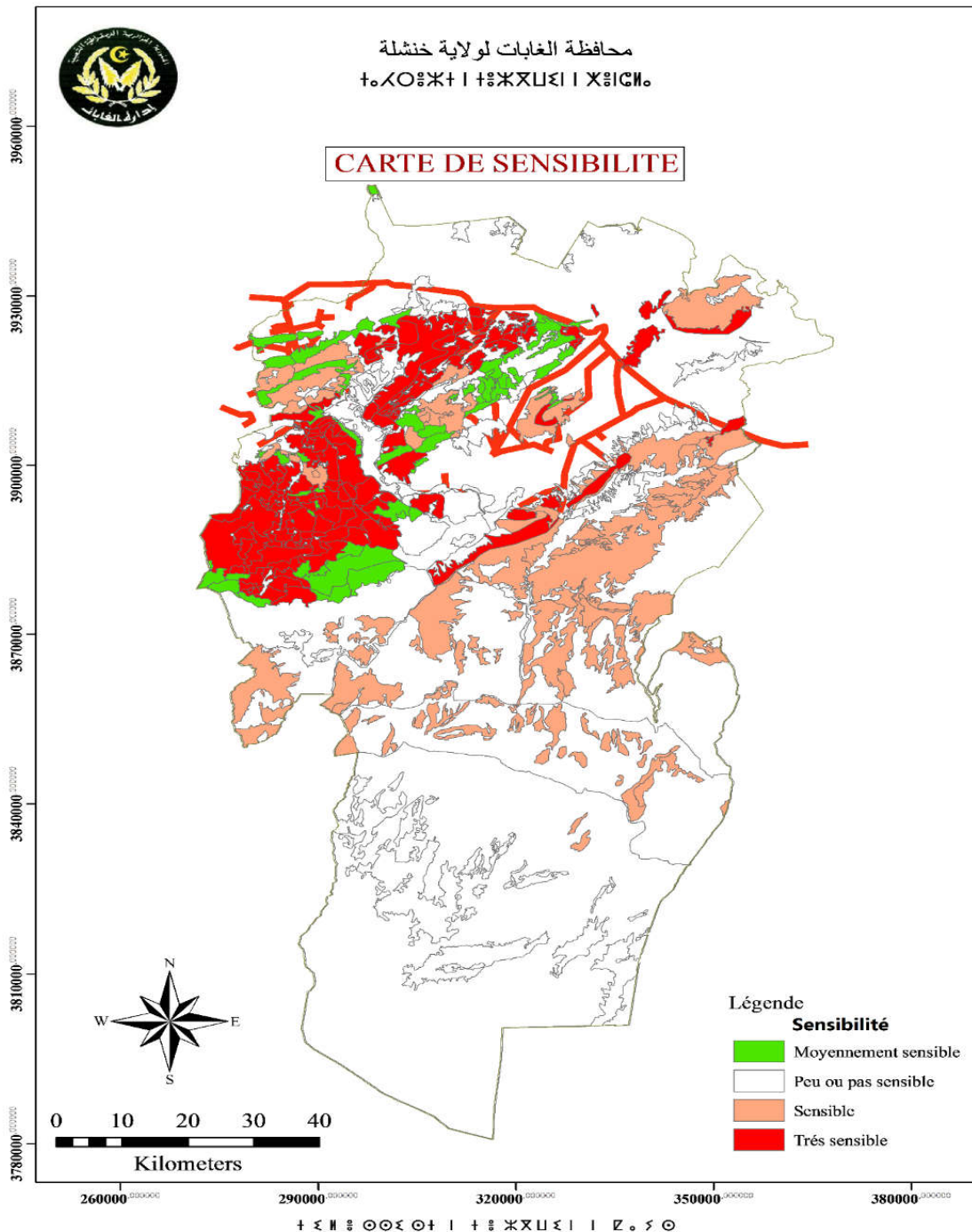
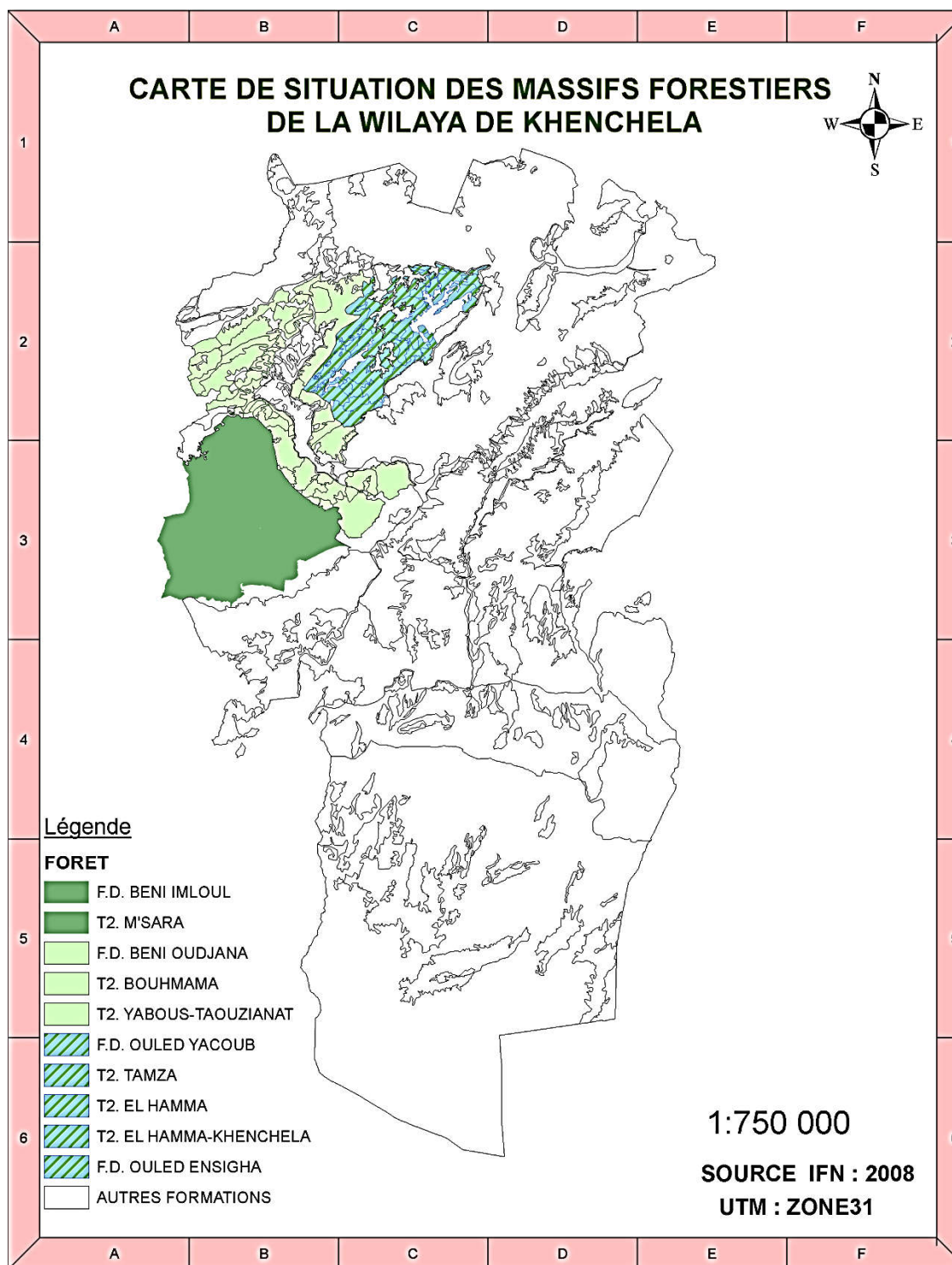


Figure 17: Carte de risque (sensibilité) de Khenchela



**Figure 18: Carte de situation des massifs forestiers de wilaya de Khenchela**

Presque, la plupart de la forêt de wilaya de Khenchela présentant niveaux de risque élevé et très élevé en matière de mise à feu.

- Les zones à risque très élevé (très sensible) sont localisées de forêt de Beni-Imloul et forêt de M'SARA comme le montre la figure (18).

- Les zones à sensibilité sont localisées de forêt de Beni Ouadjana et forêt de Ouled Yagoub.

**II.8.5. Les conséquences d'un feu de forêt :**

Bien que les incendies de forêt soient beaucoup moins meurtriers que la plupart des catastrophes naturelles ils n'en restent pas moins très coûteux en termes d'impact humain, économique, matériel et environnementale.

**II.8.5.1. Les conséquences sur l'homme :**

Les atteintes aux hommes rarement la population. Le mitage, qui correspond à une présence diffuse d'habitations en zones forestières, accroît la vulnérabilité des populations face à l'aléa feu de forêt.

De même, la diminution des distances entre les zones d'habitat et les zones de forêts limite les zones tampon à de faibles périmètres, insuffisantes pour stopper la propagation d'un feu. [36]

**II.8.5.2 les conséquences économiques:**

La destruction d'habitation de zones d'activités économiques et industrielle , ainsi que des réseaux de communication, induit généralement un coût important de pertes d'exploitation

**II.8.5.3. les conséquences sur l'environnement:**

Impact environnemental d'un feu est également considérable en termes de biodiversité (Faune et flore habituelles des zones boisées) aux conséquences immédiates les disparitions et les modifications de paysage, viennent s'ajouter des conséquences à plus long terme, notamment la reconstitution des biotopes, la perte de qualité de sols et le risque important d'érosion , consécutif à l'augmentation du ruissellement sur un sol dénudé. [36]

**Conclusion:**

Scientifiquement, le déclenchement d'un incendie est dû à la disponibilité d'au moins trois facteurs: le matériau combustible, la chaleur et l'oxygène de l'air.

En conséquence, les incendies de forêt ont des raisons nombreuses et variés qui peuvent être regroupés en deux classifications principales, la première n'étant pas intentionnelle (facteur de la nature), et le deuxième intentionnelle causé par l'action humaine.

# **Chapitre III :**

## **Approche méthodologique**

### **Introduction**

**III-1 Concept fondamentaux de théorie des ensembles flous et la logique floue:**

### **III-2. Méthodologies**

**III-2-1 - Explication des facteurs de risque**

**III.2.1.1. De risque Topographique**

**III.2.1.2. Le risque de combustible: (le risque d'essence)**

**III.2.1.3 Le risque météorologique**

**III.2.1.4 Risque des facteurs anthropiques**

**III.2.1.5- Historique d'incendie**

**III.2.2. Déterminer les variables d'entrées et de sortie**

**III.2.3 L'étape de fuzzification**

**III.2.3.1 Fuzzification les entrées TCV, DCF, TH et to sortie RFC**

**III.2.3.2 Fuzzifier des entrées: Température, vent et Humidité et sortie**

**III.2.3.3 Fuzzifier des entrées de facteur Anthropique RFA**

**III.2.3.4 Fuzzifier des entrées du Facteur RFT(P) + HI:**

**III.2.3.5 Fuzzifier la sortie du modèle proposé RFF:**

**III.2.4. Règles différence (If-then utilisé dans l'étude)**

**III.2.5 Discutez des résultats de la sortie finale (RFF) du modèle proposé**

### **Conclusion**

### Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une description précise et détaillé de la méthode proposée pour prédire le risque d'incendies de forêt, en utilisant les concepts et les outils de la logique floue. Ce dernier nous permet de déterminer un facteur de risque pour chaque facteurs des facteurs mentionnés au chapitre (II) (facteurs météorologique, topographique, végétation...) de Khenchela.

Le système flow propose lors de cette étude a été simulé à l'aide du MATLAB qui traduit tous les facteurs provoquent l'incendie en variables linguistique et discutés au moyen de règle d'inférence de la logique floue.

### III-1 Concept fondamentaux de théorie des ensembles flous et la logique floue:

Bien que le concept de logique floue ait été étudié depuis les années 1920, le terme logique flou a été utilisé pour la première fois en 1965 pour Lotfi A. Zadeh, Professeur d'automatique de l'université de Californie à Berkeley. La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous, qui sont extension de la théorie des ensembles classiques (Zadeh 1965).

Le concept central de la théorie des ensembles flous est la fonction d'appartenance qui représente le degré d'appartenance d'un élément à un ensemble.

La logique floue est basée sur le concept de sous-ensembles flous.

Un sous ensemble flou à d'un univers de discours  $X$  est caractérisé par une fonction d'appartenance  $\mu_A$  c'est:  $\mu_A: X [0;1]$ .

Où :  $\mu_A$  l'appartenance de  $x$  à  $A$ , c'est-à-dire les serveurs  $\mu_A$  comme fonction d'appartenance par laquelle un ensemble flou  $A$  est défini. [37]

Cette fonction d'associe à chaque élément  $x$  de  $X$  un numéro  $\mu_A(x)$  dans l'intervalle  $[0,1]$ .

Cet ensemble flou  $A$  peut être formellement écrit comme :

$$A = \{x_1 / \mu(x_1), x_2 / \mu(x_2), \dots, x_n / \mu(x_n)\}$$

Pour tous  $A$ .  $\mu_A(x)$  prend les valeurs **compris entre 0 et 1 incluses**.

Différents types fonctions d'adhésion (d'appartenance) floues ont été proposés (triangulaire, gaussien, trapézoïdal, ... etc.).

La grande d'appartenance de l'objet peut varier à 0 à 1. La valeur de "1" indique l'appartenance complète ( $\mu_A=1$  si  $X$  est totalement  $A$ ), tandis que plus la valeur est proche de "0", plus l'appartenance de l'objet est faible dans l'ensemble flou ( $\mu_A=0$  ou  $\mu \cong 0$  si  $X$  n'est pas dans  $A$ ), enfin ( $0 < \mu_A < 1$  si  $X$  est partie dans  $A$ ).

L'ensemble flou élimine la frontière nette, qui divise les membres et les non membres en un ensemble net, en fournissant une transition entre l'adhésion complète et la non-adhésion. [38]

La logique floue bas" sur des variables floues dites variables linguistiques à **valeurs linguistiques** dans l'univers  $X$ . chaque valeur linguistique constitue alors un ensemble flou de l'univers du discours comme l'exemple suivant:

Exemple: - Univers du discours  $X$ : gamme de température de (-20C°) à (50 C°)

- Variable linguistique : la température.

- Valeurs linguistique ("froide", "Moyenne" et "chaude").

Pour ce qui concerne la conception d'un système flou, soit pour la commande, soit pour le diagnostic, nous distinguons, en général trois étapes principales qui sont : la fuzzification, les inférences et la défuzzification. La figure (19) représente les étapes de la logique floue:

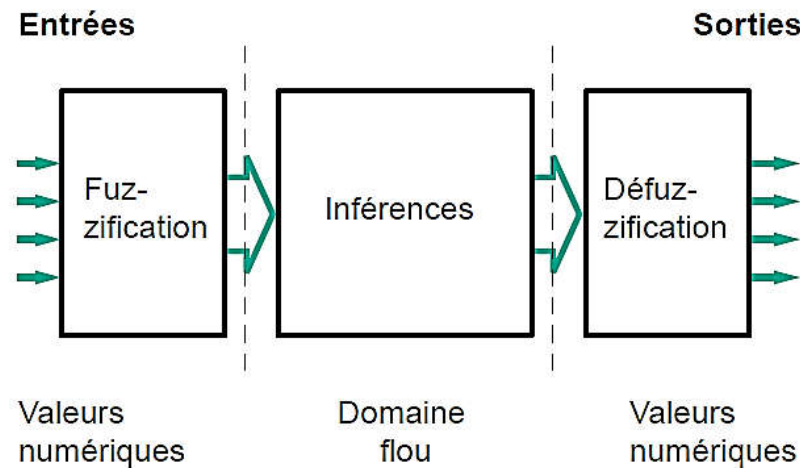


Figure 19: Traitement flou (Diagnostic par la logique floue)

### 1. La fuzzification :

Cette première étape consiste à transformer les variables (d'entrée et sortie) en variable linguistiques représentés comme des ensembles flous en leur associant des lois de véracité (FA). Les fonctions d'appartenance sont appliquées aux mesures et des degrés de vérité sont établis pour chaque proportion.

### 2. Inférence flous:

Les valeurs des variables linguistiques seront liées pour une, ou plusieurs règles, qui doivent tenir compte du comportement statique et dynamique de processus ainsi que des buts envisagés. On obtient ainsi une information floue pour la variable de sortie floue.

Pour le réglage par la logique floue, on utilise en générale une des méthodes suivantes:

- Méthodes d'inférences : Max-Min (Mamdani).
- Méthodes d'inférence : Max-Prod (Larsen).
- Méthodes d'inférence : Somme-prod (Sugeno).

#### 2.1 Méthodes d'inférences : Max- Min:

Un bas de règle flou de Mamdani comprend donc des règles linguistiques faisant appel à des fonctions d'appartenance. Il existe les étapes suivantes : [39]

## Chapitre III: Approche méthodologique

### a- Degré d'activation :

Le degré d'activation d'une règle est l'évaluation du prédicat de chaque règle par combinaison logiques de propositions du prédicat comme illustré dans la figure (20-a), le "ET" est réalisé en effectuant le minimum entre les degrés de verste des proportion [39].

### b- Implication :

Le degré d'activation de la règle permet de déterminer la conclusion de la règle, c'est l'implication. Il existe plusieurs opérateurs d'implication, mais le plus utilisé est le (minimum). L'ensemble floue de conclusion est construit en réalisant le minimum entre le degré d'activation et la fonction d'appartenance de conclusion (voir figures 20-b). [39]

### c- agrégation:

L'ensemble flou global de sortie est construit par agrégation des ensembles flous obtenus par chacune des règles concernant cette sortie. on considéra que les règles sont liées par un (ou), (voir la figure 20-c).

L'exemple montré dans la figure (20) suivante résume les trois étapes dans lesquelles:

- Si "pression forte" et "température élevée" Alors "ouverture vanne grande"
- Si "pression moyenne" et "température élevées" Alors "ouverture vanne grande".
- [Si "pression forte" et "température élevées" Alors "ouverture vanne grande] ou [Si "pression moyenne" et "température élevées" Alors "ouverture vanne grande]

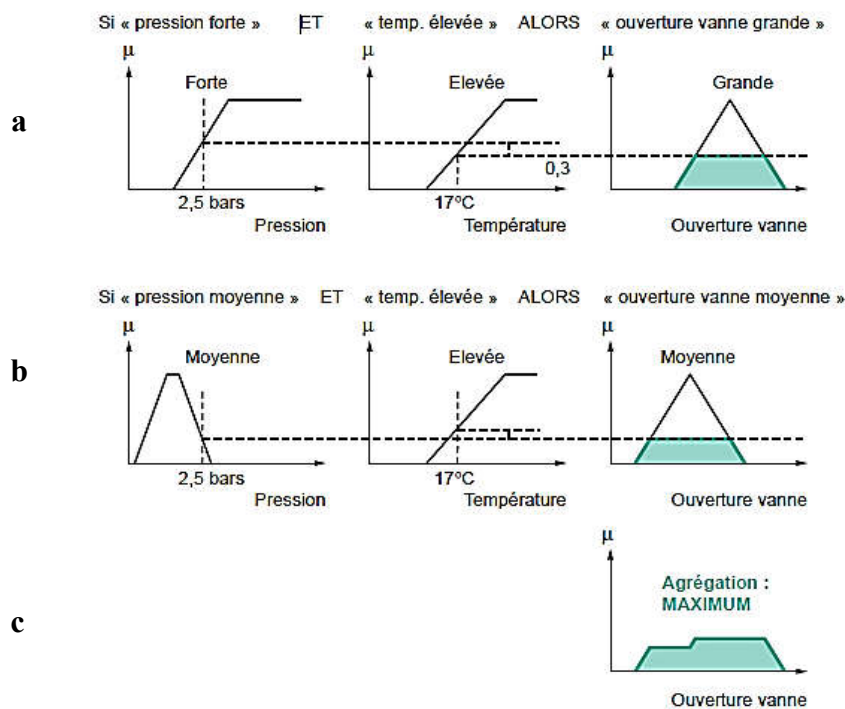


Figure 20 : Définition des règles d'inférence de Mamdani (Main-Max)

### 2-2 Méthodes d'inférence Max-prod:

Les différences avec la méthode précédente est la réalisation de "Alors" qui se traduit par la multiplication de la fonction d'appartenance considéré par la valeur de la règle [40].

### 2-3 Méthode d'inférence Somme-prod

Proche de la méthode précédente, il suffit de remplacer la traduction de "Alors" par la somme des fonctions d'appartenance Partielle [40].

### 3- La défuzzification:

Dernière étape de la logique floue, elle a pour objectif de transformer la courbe d'activation finale obtenue lors de l'étape d'agrégation en vue vas leur réelle. Deux méthode sont alors applicables pour obtenir la valeur de la variable à prédire.

- ❖ La méthode du centre de gravité.
- ❖ La méthode de la moyenne maximums.

La méthode de défuzzification la plus utilisée est celle de la détermination du centre de gravité, il s'agit de calculer la position du centre de la gravité de la fonction d'appartenance résultante d'abscisse de ce centre de gravité devient la sortie du régulation et donc la commande du système. [40]

La figure (21) représente la défuzzification par centre de gravité (suivez l'exemple précédent dans la figure (20)).

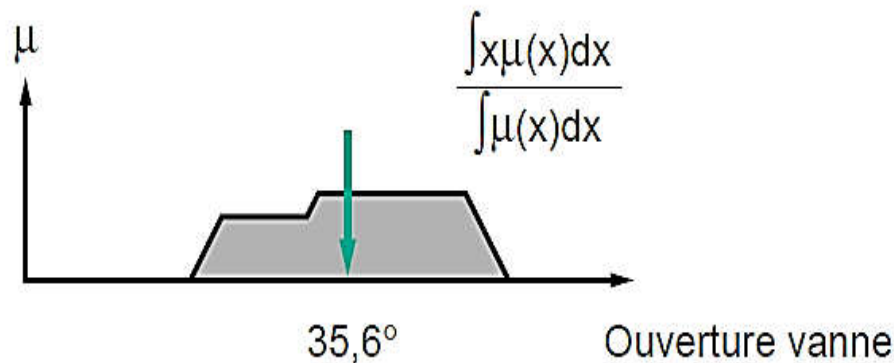


Figure 21 : Défuzzification par centre de gravité

### III.2. Méthodologies:

Dans cette étude, nous avons utilisé un méthodologie en conjonction avec la logique floue pour classer les facteurs causatifs du risque d'incendie dans la zone d'étude (Khenchela), par conséquent, chacun de ces facteurs est considéré comme un risque d'incendie de forêt.

### III-2-1 Explication des facteurs de risque :

#### III.2.1.1. De risque Topographique:

Ce risque est exprimé en hauteur; inclinaison de la pente et direction de l'exposition.

Nous limitons l'étude à l'effet de la pente de la zone, qui à son tour est divisé en trois classes:[41].

##### ► Pente comprise entre 0 et 3,5%:

Cette classe correspond aux hautes plaines du nord, les vallées et les replats, ainsi que la basse cuvette du Sahara. Elle représente 22,67% du territoire de Khenchela.

##### ► Pente comprise entre 3% et 25%:

Cette classe présente une pente modérée, elle correspond généralement aux termes de bas piémonts, où l'agriculture reste possible et où l'écoulement des eaux est important, elle représente 38,52 du territoire de la région.

##### ► Pente supérieure à 25% :

C'est une classe qui présente la pente excessivement marquée. Elle correspond en général au territoire de haute montagne. Elle représente 17,35% du territoire de Khenchela.

#### III.2.1.2. Le risque de combustible: (le risque d'essence)

Qui est déterminée en connaissant le type de couverts végétaux, la densité du couvert forestier et en calculant la teneur en humidité du couvert forestier ou degré d'humidité du sol.

##### ❖ Type de couverts végétaux :

Selon la stratification de type de couverture végétale (chapitre II), on peut déduire le gradient d'inflammabilité comme suit:

- **Type 1 et 2:** cette strate exprime la grande inflammabilité telle que la longueur des mauvaises herbes est inférieure à 10 cm.
- **Type 3 :** moyen inflammabilité, tels que la longueur des ligneux bas varie entre 10 à 90 cm (en général).
- **Type 4:** cette strate exprime la faiblesse inflammable, tels que la longueur des ligneux hauts varie entre 90 à >130 cm

##### ❖ La densité des couverts forestiers :

La densité élevée de la plupart des forêts forestiers de l'état de Khenchela contribue à l'augmentation du combustible naturel, car les cimes des arbres s'entrelacent les unes avec les autres et augmentent la densité de la couche inférieure d'arbustes et des mauvaises herbes du risque d'incendie et la vitesse de propagation du feu.

## Chapitre III: Approche méthodologique

En général, la distance nécessaire pour disperser les arbres varie en fonction des exigences de leurs types, des arbres peuvent être plantés avec une distance comprise entre 2 et 10 m entre un arbre et un autre. Par exemple, les pins, la distance entre eux est de 3 à 3,7 m ou moins plus les arbres sont éloignés, plus ils poussent vite. [AF.E.D].

### ❖ Degré de l'humidité de plante (La teneur en humidité):

La teneur en humidité est la quantité d'eau contenu dans le sol esalortable d'une plante exprimé en pourcentage (%) du poids totale de combustible sec la teneur en humidité d'un plant est la facteur plus important affectant le comportement du feu. un petit combustible sec à l'allume plus facilement qu'un combustible saturé d'eau, cela est dû à une relation positive entre la teneur en humidité et la profondeur de sol.

### III.2.1.3Le risque météorologique:

Ce risque est exprimé en des données climatiques : la température, la vitesse de vent et l'humidité.

Les données climatiques pour Khenchela sont enregistrées dans le tableau suivant :

**Tableau 11 :Les données climatiques pour Khenchela**

Années	T <sub>min</sub> (C°)	T <sub>max</sub> (C°)	V (m/s)	Humidité (.....)
1997	3.4	34.5	43	70.05
1998	0.21	35.6	33	70.09
1999	+1.4	36.7	36	75.5
2000	-0.5	35.3	39	69.5
2001	1.8	36.2	40	73.2
2002	0.8	33.8	46	70.6
2003	1.6	36.7	36	72.8
2004	2.2	34.9	34	78.4
2005	-0.4	36	36	75.5
2006	0.6	33.4	35	81.2
2007	2.6	34.6	31	71.7
2008	1.4	35.9	44	74.8
2009	1.5	36.6	32	75.4

2010	2.5	34.4	39	68.2
2011	1.5	34.5	45	75.8
2012	-1	36.7	27	75.9
2013	1.1	34.2	4.51	66.7
2014	2.6	35.6	4.1	78.2
2015	1.2	34.7	4.7	78.2
2016	2.9	34.0	5.1	81.42
2017	2.5	35.2	4.29	75.28

**III.2.1.4 Risque des facteurs anthropiques:**

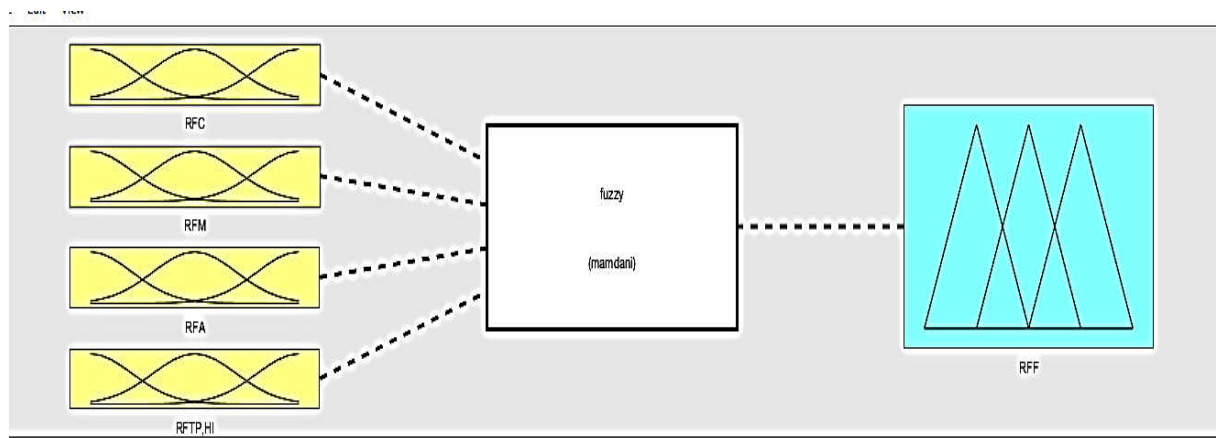
La présence de la population et des habitations près des forêt et de pratique d'activités humaines telles que la pâturage des bétail est un grand danger surtout en cas d'incendie, c'est-à-dire plus la distance au zone d'habitat proche de la forêt et plus distance au réseau routier est grande, plus le danger est grand.

**III.2.1.5- Historique d'incendie :**

Nous le concluons sur la base des données sur le nombre et les causes des incendies précédents Survenus dam to zone d'étude.

**III.2.2. Déterminer les variables d'entrés et de sortie:**

A travers ce que nous avons expliqué, nous avons 11 variables d'entrée, Ce qui conduit à étudier un grand membre lors de l'étape de création des règles, floues ( $177347$ , i.e  $3^{11}$ ), nous divisons donc les variables d'entrée en quatre étages comme le montre la figure suivante :



**Figure 22 Structure les entrées et sortie du modèle proposé**

### ► Les entrées :

- **RFC:** Risque des facteurs de combustible qui comprend trois facteurs de base qui sont (TCV type de couvert végétaux, DCF la densité du couvert forestier, T.H la teneur en Humidité de plante).
- **RFM:** Risque des facteurs météorologique (climatique) que comprend trois facteurs de base que sont:(la température, le vent et l'humidité)
- **RFA :** Risque du facteur anthropique qui comprend trois facteurs base qui sent: (DRR: distance au réseau routier, DZH distance au zone d'habitat et AH les activités humaines (le pâturage)).

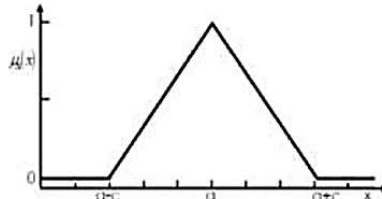
**RTP + HI:** Risque topographie (la pente) et l'historique d'incendies.

### ► Les sorties

Nous avons une variable de sorte qu'est le risque feu de forêt (Note: **RFF**).

### III.2.3 L'étape de fuzzification:

Il comprend deux étapes de base : la première étape consiste à trouver les fonctions d'appartenance pour l'entrée et les sortie, et la deuxième étape est trouver la valeur linguistique de ces fonction, et nous utilisons la forme triangulaire flou dans notre étude qui peut être exprimé mathématiquement par l'équation suivante:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x-a|}{c} & ; a-c \leq x \leq a+c \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases}$$


Chaque variable d'entrée est étudié pour chaque ensemble flou, et le nombre de groupes et déduit de la distribution des données pour chaque variable. Chaque variable linguistique d'entrée à des valeurs linguistique allant de (0, 1) qui sont ("Faible", "Moyen" et "fort").

#### III.2.3.1 Fuzzification les entrées TCV, DCF, TH et to sortie RFC:

- **TCV:** L'intervalle de distribution données varient entre [0150] d'où: [0510] (Fort), [105090] ("Moyen") et (90120150) ("Faible")
- **DCF:** le champ de changement de donnés varient entre le [015] (en mètre) tels que: [7 10 15] (Faible), [2 3.5 7] (Moyen) et [0 1 2] (Fort)
- **TH:** L'intervalle de distribution des données varient entre [0 120](%) d'où : [100 110 120] (faible), [20 60 100] moyen et [0 10 20] (Fort).

## Chapitre III: Approche méthodologique

La sortie **RFC** est varié entre [0 70] tels que [0 20 35] (faible) [35 50 60] (Moyen) et [60 70 80] est (fort). Nous avons représenté les valeurs dans le modèle de flou comme indiqué sur la figure suivante:

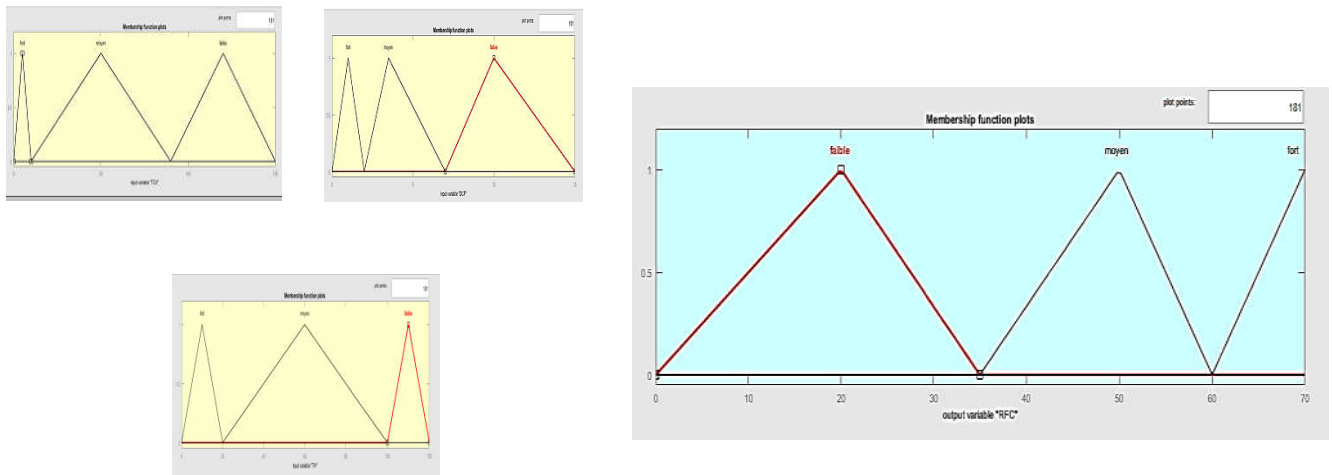


Figure 23: La fonction d'appartenance des entrées et sortie.

### III.2.3.2 Fuzzifier des entrées: Température, vent et Humidité et sortie:

- **La température:** L'intervalle de distribution varie entre [-2 50] (C°) tel que: [-2 9.1 15] Faible, [14.3 20.4 27.0] Moyen et [25 39 50] Fort.
- **Le vent:** l'intervalle de distribution des données varie entre [0 60](m/s) d'où : [0 5.1 18] Faible, [17 27 34] Moyen, et [32 50 60] Fort.
- **L'Humidité:** [15 100] d'où il est divisé en trois groupes flous: [15 33,7 50] Fort, [50 66,7 78,4] Moyen et [78,4 100] est Faible :
- **la sortieRFM:** est varié entre [0 100] d'où: [0 15 25] Faible, [25 35 50] Moyen et [50 70 100] Fort.

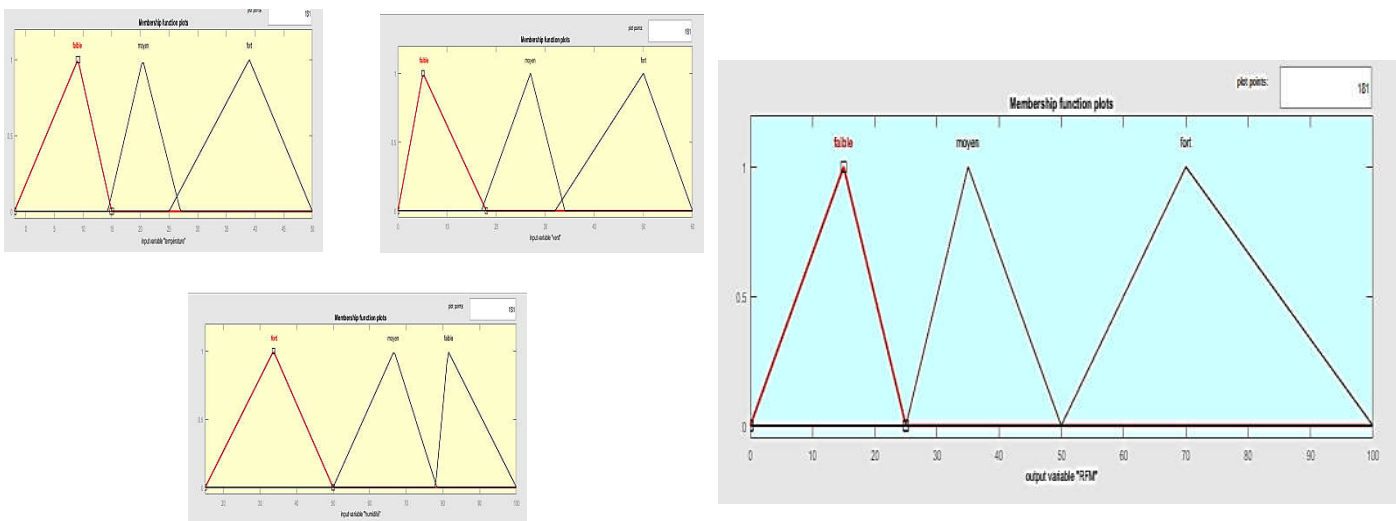


Figure 24 : La fonction d'appartenance de chaque entrée et sortie

### III.2.3.3 Fuzzifier des entrées de facteur Anthropique RFA:

- **DRR**: [50 250] (m), d'où il est divisé en trois ensembles flous: [50 70 95] Fort, [100 150 200] Moyen et [200 225 250] Faible.
- **DZH**: [0 10] (km) d'où il est divisé en: [0 0.5 1] Fort; [1 1.5 2] Moyen et [2.5 7 10] Faible.
- **AH** : (par exemple le pâturage): [1 10] d'où il est divisé en [1 2 3] Faible [3 4 6] Moyen et [6 8 10] Fort.

La sortie du facteur anthropique **RFA** : est distribué entre [0 100] tels que [0 15 30] Faible , [30 50 70] Moyen et [70 80.5 100] est Fort

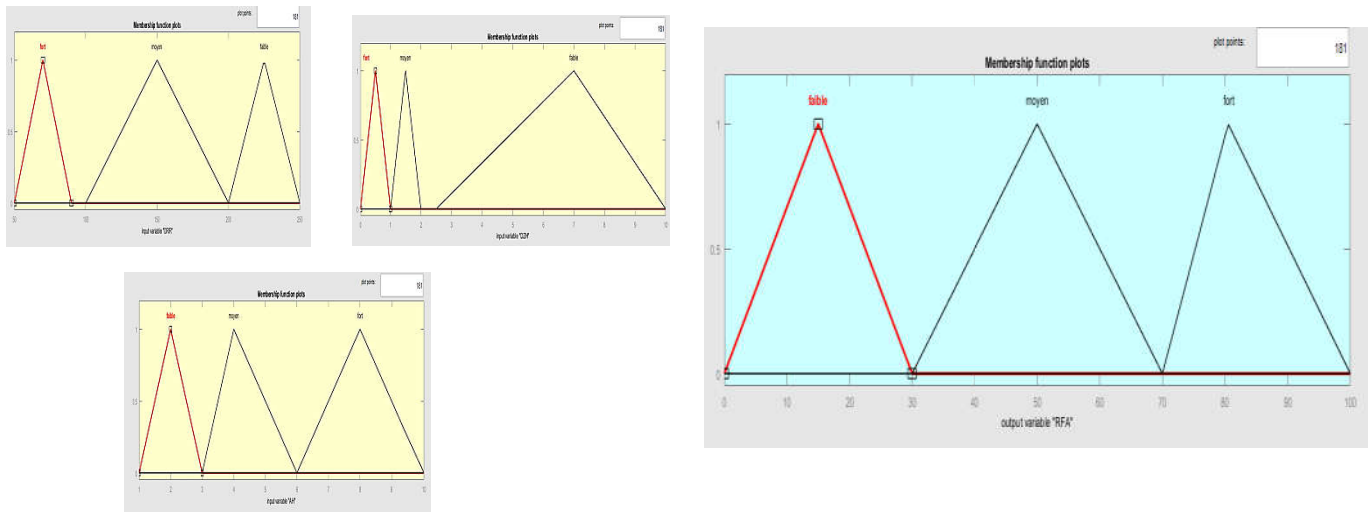


Figure 25: Les fonctions d'appartenance des entrées et sortie du modèle.

### III.2.3.4 Fuzzifier des entrées du Facteur RFT(P) + HI:

- **FTP** est varié entre [0 40] (%) d'où: [0 1,5 3,5] Faible, [3 12,5 25] Moyen et [25 35 40] Fort.
- **HI** à travers les bases de données des incendies de forêt de Khenchela entre 2009 et 2019 (10 ans), les forêts sont les plus touchés par les incendies sont Beni Imloul (MSARA), Beni oudjana (Tamza) et ouledyagoub (Tamza). l'intervalle est distribuée entre [0 10] (ans) guid est divide en tres groupes flous: [0 2 3] Faible [3 5 6] Moyen et [6 9 10] Fort.

A noter que le nombre d'incendies dans les zones susmentionnées varie de un à dix incendies chaque année au cours des dix dernières années.

La sortie de risque topographie (pentes) et risque d'historique d'incendies (RFIP, HI) est distribuée entre [0 100] d'où: [0 25 40] Faible [40 50 65] Moyen et [60 80 100] Fort.

Nous avons représenté ces valeurs dans le modèle de flou comme indiqué sur la figure suivants :

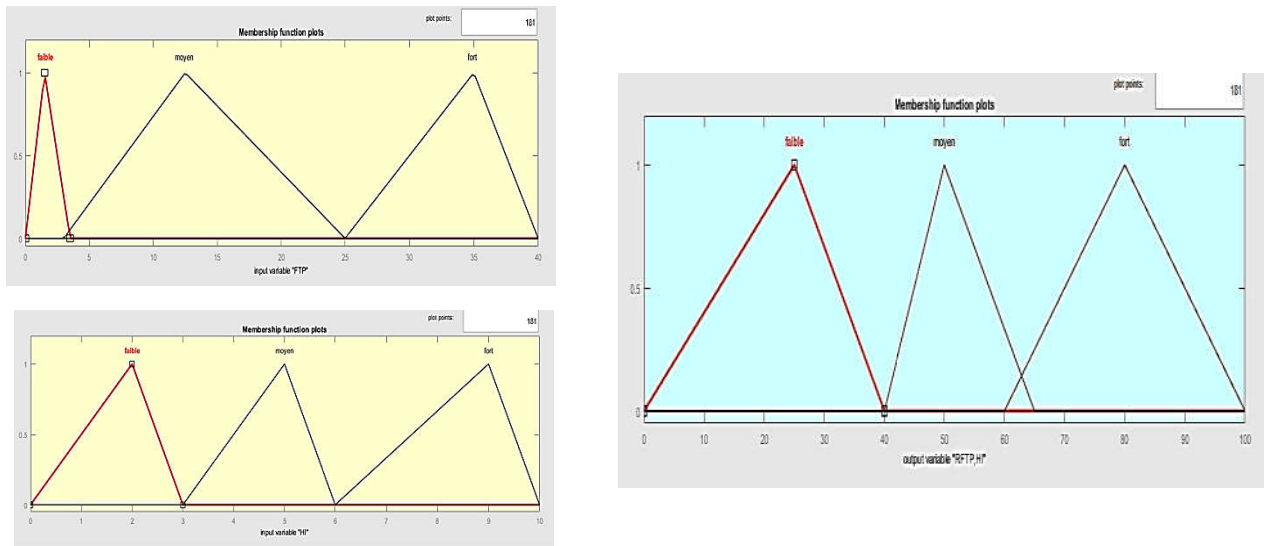


Figure 26: La fonction d'appartenance de chaque entrée et sortie

### III.2.3.5 Fuzzifier la sortie du modèle proposé RFF:

La Fuzzification des entrées du modèle proposé (RFC), (RFA) et (RFM) (RFTP, HI) sont montrées dans les figures précédentes. La variable de sortie est exprimée par trois valeurs linguistique ("faible", "Moyenne", "Fort", tels que l'intervalle de distribution des données, varie entre [0 100] d'où : [0 15 30] Faible, [30 40 50] Moyen, [50 75 100] (voir la figure 28).

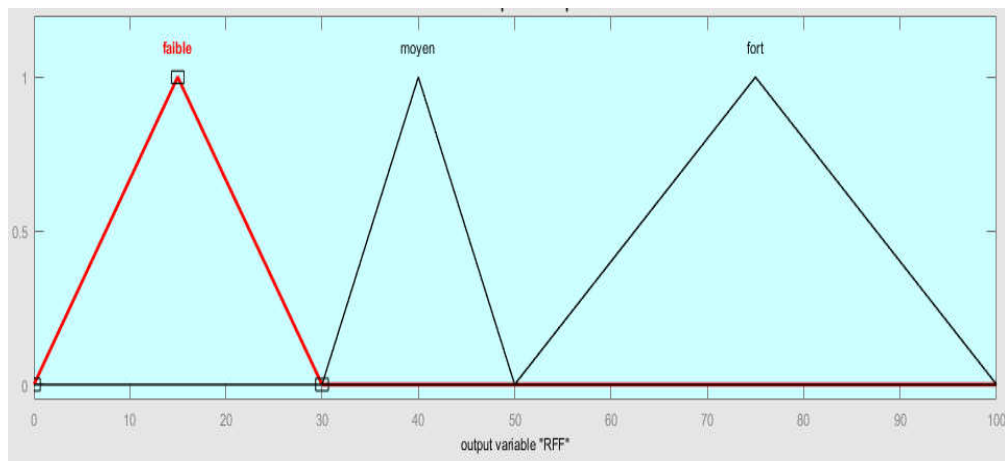


Figure 27 : la fonction d'appartenance de sortie RFF

### III.2.4. Règles différence (If-then utilisé dans l'étude) :

Etant donné que chacune de variable de sortie RFC, RFM, RFA contient trois variables d'entrée, dont chacune compose trois groupes flous, le nombre de règles pour chaque variable est (27), quant à la variable de sortie "RFTP, HI" qui contient deux entrées chacune ayant trois valeurs linguistiques donc ( $3^2=9$ ).

En extrayant les règles appropriées et en éliminant certaines règles inappropriées, j'ai atteint ce qui est montrée dans les quatre tableaux respectivement:

### Chapitre III: Approche méthodologique

**Tableau 12: Règle différence (If-then) utilisé dans RFC.**

N°	TCV	DCF	TH	RFC	N°	TCV	DCF	TH	RFC	N°	TCV	DCF	TH	RFC
1	Faible	Faible	Fort	Faible	6	Moy	Faible	Moy	Faible	11	Fort	Faible	Faible	Fort
2	Faible	Moy	Fort	Moy	7	Moy	Moy	Faible	Moy	12	Fort	Faible	Moy	Fort
3	Faible	Moy	Fort	Faible	8	Moy	Moy	Fort	Moy	13	Fort	Faible	Fort	Faible
4	Faible	Fort	Faible	Fort	9	Moy	Fort	Faible	Fort	14	Fort	Moy	Faible	Fort
5	Faible	Fort	Fort	Moy	10	Moy	Fort	Fort	Moy	15	Fort	Moy	Moy	Fort
										16	Fort	Moy	Fort	Moy
										17	Fort	Fort	Moy	Fort

**Tableau 13: (If-Then) de RFM:**

N°	Temp	Vent	Humidité	RFM	N°	Temp	Vent	Humidité	RFM
1	Faible	Faible	Fort	Faible	10	Moy	Moy	Fort	Faible
2	Faible	Moy	Faible	Moy	11	Moy	Fort	Faible	Fort
3	Faible	Moy	Fort	Faible	12	Moy	Fort	Fort	Moy
4	Faible	Fort	Faible	Fort	13	Fort	Faible	Moy	Fort
5	Faible	Fort	Fort	Faible	14	Fort	Faible	Fort	Faible
6	Moy	Faible	Faible	Moy	15	Fort	Moy	Faible	Fort
7	Moy	Faible	Fort	Faible	16	Fort	Moy	Moy	Fort
8	Moy	Moy	Faible	Moy	17	Fort	Moy	Fort	Moy
9	Moy	Moy	Moy	Moy	18	Fort	Fort	Faible	Fort

### Chapitre III: Approche méthodologique

Tableau 14: (If-then) de RFA

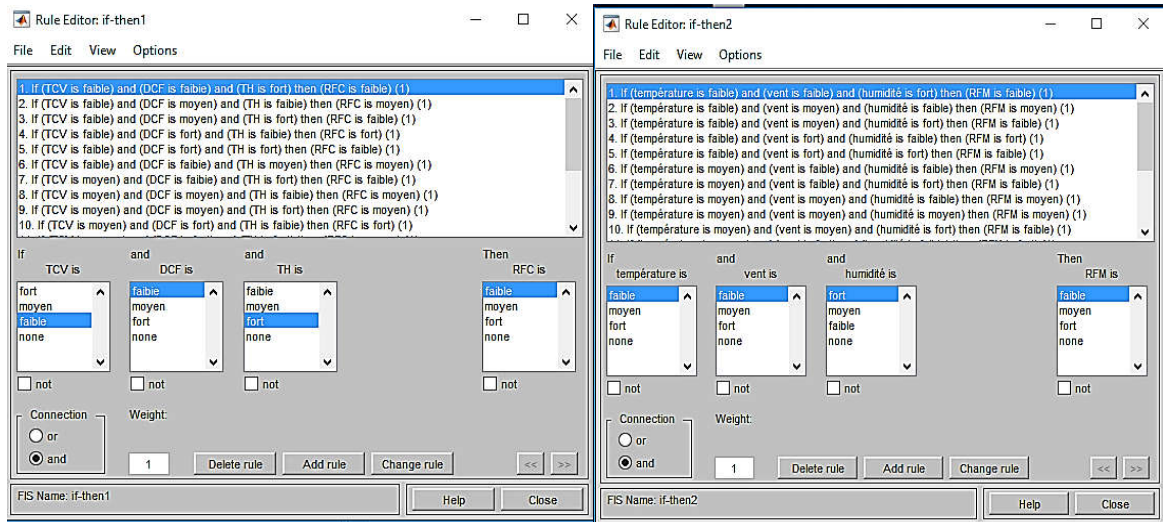
N°	DDR	DZH	AH	RFA	N°	DDR	DZH	AH	RFA
1	Faible	Faible	Faible	Faible	9	Moy	Faible	Moy	Fort
2	Faible	Faible	Fort	Moy	10	Moy	Moy	Fort	Fort
3	Faible	Moy	Faible	Faible	11	Moy	Fort	Faible	Moy
4	Faible	Moy	Fort	Fort	12	Moy	Fort	Fort	Fort
5	Faible	Moy	Moy	Moy	13	Fort	Faible	Fort	Fort
6	Faible	Fort	Fort	Fort	14	Fort	Moy	Moy	Fort
7	Moy	Faible	Faible	Faible	15	Fort	Moy	Fort	Fort
8	Moy	Faible	Moy	Moy	16	Fort	Fort	Faible	Fort
					17	Fort	Fort	Fort	Fort

Tableau 15: Règle d'inférence (If-Then) de RFTP,HI

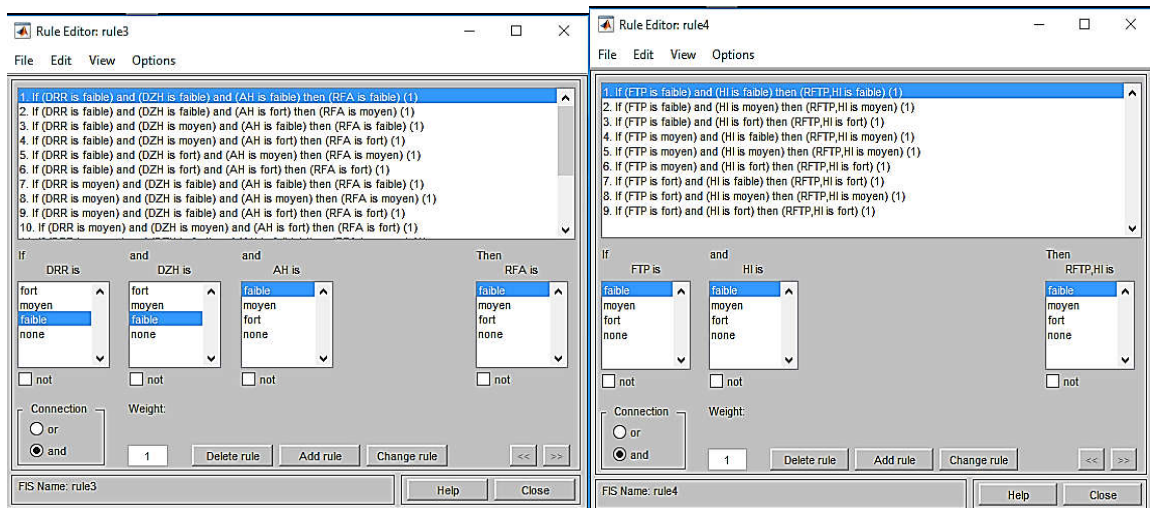
N°	RFTP	HI	RFP, HI	N°	RFTP	HI	RFP, HI	N°	RPP	HI	RFP,HI
1	Faible	Faible	Faible	4	Moy	Faible	Moy	7	Fort	Faible	Fort
2	Faible	Moy	Moy	5	Moy	Moy	Moy	8	Fort	Moy	Fort
3	Faible	Fort	Fort	6	Moy	Fort	Fort	9	Fort	Fort	Fort

Les figures (28), (29), (30) et (31) présentées les tous les règles paramètres précédents à l'aide du programme MATLAB:

## Chapitre III: Approche méthodologique

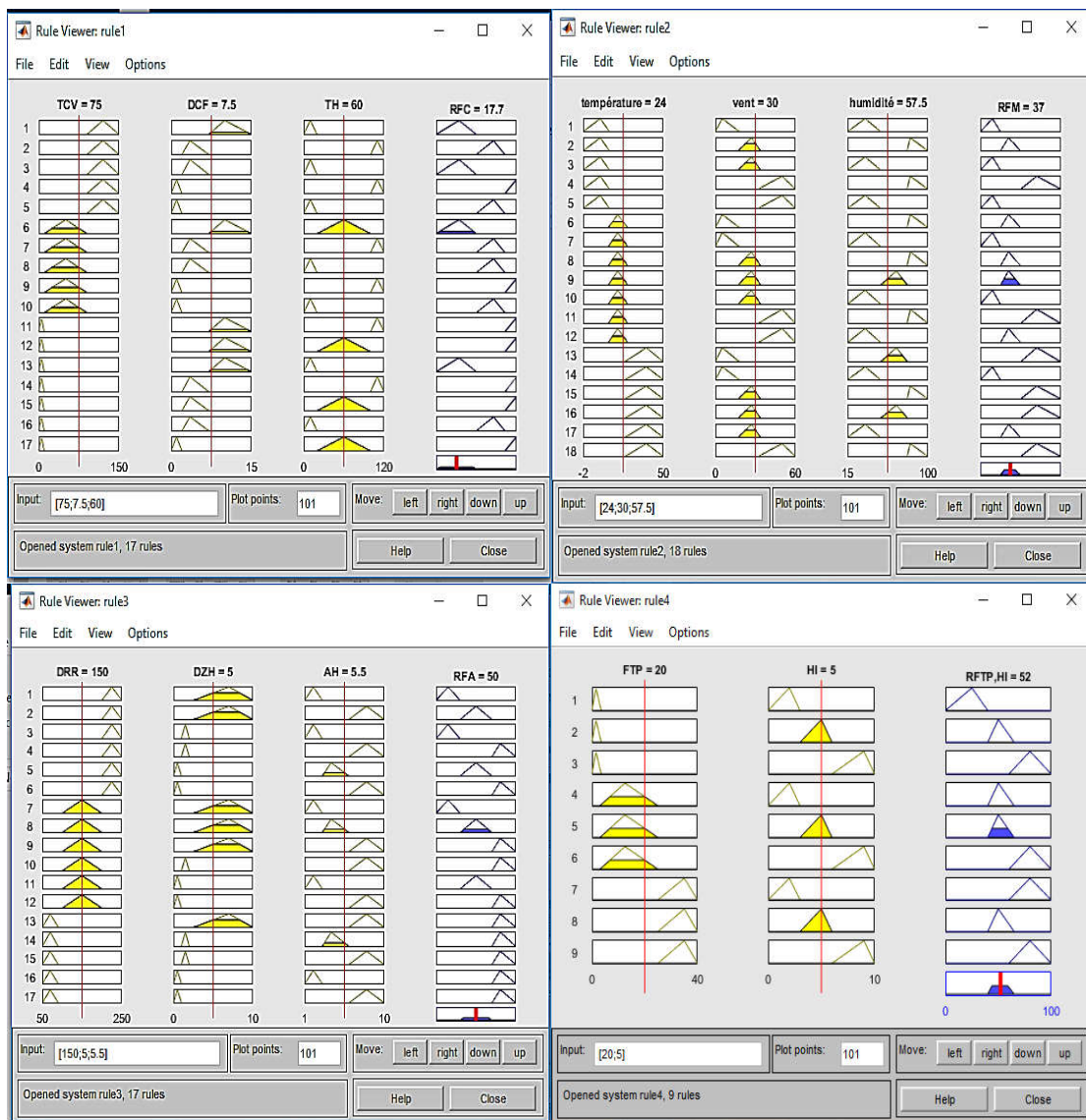


**Figure 28: règles (If-Then) utilisé dans RFC** **Figure 29: règles (If-Then) utilisé dans RFM**



**Figure 30: règles (If-Then) utilisé dans RFA** **Figure 31: règles (If-Then) utilisé dans REF,HI**

- La figure 32 montre l'interface qui montre le résultat final représenté par les méthodes d'entrée des cas étudiées à partir de la règle d'inférence.



**Figure 32: Fenêtre de calcul de règle logique utilisé pour évaluer les cas étudiés.**

### La Discussion:

- ✓ Les incendies de forêt diffèrent selon les différents du sol selon leur répartition naturelle (mauvaises herbes, arbustes et arbres), et d'une part selon la teneur en humidité des plantes et leur inflammabilité et les incendies les plus dangereux se déclament pendant les périodes de sécheresse et dans les forêts denses. Par exemple, lorsque la valeur de TCV=8,13; DCF=1,9; TH=60; est le risque égale RFC=65,4.
  - Quand on prend de la valeur TCV= 8.13; DCF=9,13 et TH=108 est le risque de combustible RFC=66 (fort).
- ✓ Le climat affecte grandement risque d'incendies, lorsque la température de l'air est élevée, la vitesse du vent est forte et l'humidité de l'air est minimale, la capacité du feu à se propager est plus élevée par exemple: lorsque la valeur: Température 30,9 le vent = 38,7 et l'humidité = 85.2 est le risque RFM=74,1.

### Chapitre III: Approche méthodologique

---

- Quand on prend de la valeur: Temp=38,4, vent=30 et humidité=86,2 donc RFM=73,8 (Fort-Moy-Faible → Fort).
- ✓ Les rassemblements de population et l'éloignement des forêts des routes publiques doivent être pris en compte, en particulier lors de la pratique de certaines activités humaines telle que l'agriculture et la pâture qui est une autre cause d'incendies dans la région.  
  
Par exemple: DRR=84,9; DZH=1,75; et AH= 9,08 est le risque RFA=84,5.
- Quand on prend de la valeur : DRR (84,9), DZH (0,783) et AH (8,86) donc le risque RFA (84,5).
- ✓ En ce qui concerne le terrain le feu se propage plus fortement et plus rapidement dans la zone à forêts pentes, en plus du reste des facteurs topographiques que la direction du vent, qui permet de déterminer la température, par exemple, FTP de pente (20) et HI (5), le risque est 52. Quand on prend de la valeur de pente est 34.3 et HI (8.41) donc le risque est Fort (80).

#### III.2.5 Discutez des résultats de la sortie finale (RFF) du modèle proposé:

Chaque sortie des facteurs à l'origine des incendies de forêt dans l'origine des incendies de forêt dans la région de Khenchela est considéré comme une entrée vers de sortie "RFT", et par conséquent, la discussion de cette dernière est basée sur le placement de certains facteurs de chaque entrée ("RFC", "RFM", "RFA", et "RFTP,HI"), afin de classer les forêts en fonction de leur degré de gravité. En raison du manque de données complètes sur les forêts de Khenchela, nous appelons les forêts X, Y et Z, à travers les résultats de sortie, il est possible de classer ces forêts selon les niveaux de risque: "Faible", "Moyen" et "Fort".

Le tableau suivant montre les résultats de sortie obtenus en fonction des variables d'entrée:

### Chapitre III: Approche méthodologique

Tableau 16: Les résultats de sortie obtenus en fonction des variables d'entrée

Paramètre Forêts	Température	TCV	humidité	vent	DCF	DRR	DZH	AH	Pente	RFF
<b>Forêt X</b>	24	22,6	57,5	22	7,5	150	5	5,5	36,1	[17,7-36]
	24	120	86,2	22	1,54	80,1	1,7	5,5	2,6	[17,7-35]
	15,2	75	93,5	16,3	7,5	8,1	1,75	5,5	5,5	[13,8-35]
	19,6	127	86,2	22	1,54	80,1	1,7	5,5	2,5	[15-37,3]
	17,1	75	25,8	22	7,5	217	7,79	2,79	40	[17-37.5]
	11,5	75	25,8	16,3	7,5	8,1	1,75	5,5	36,1	[12,5-35]
<b>Forêt Y</b>	28,4	75	25,8	22	7,5	150	5	5,5	38,7	[36,9-50]
	24	69,6	57,5	22	6,78,	242	8,49	2,36	38,7	[35-47,7]
	23,4	126	50,3	7,59	7,32	148	1,51	2,79	38,7	[17-36,9]
	17,1	126	50,3	55,3	0,452	148	1,51	2,79	40	[17-36,9]
	42,2	22,6	86,2	17	1,54	242	8,49	2,36	38	[35-50]
	45,3	22,6	81,1	17	1,54	72,9	0,663	2,36	35	[30-50]
<b>Forêt Z</b>	25,7	6,33	50,3	24,2	0,813	72,9	0,663	9,74	39	[50-61,9]
	25,7	9,94	81,1	45,2	7,5	89,8	0,783	1,6	9,33	[53,8-74]
	45,3	4,52	81,1	45,2	14,2	89,8	0,783	1,6	35	[65,6-85]
	39,7	82,8	57,2	45,2	1,9	58,4	1,27	5,5	1,65	[66-74]
	42,2	136	86,2	42,3	7,5	242	8,54	2,36	38,5	[50-73,8]
	32,8	6,33	57,5	30,2	0,83	75,3	0,542	8,54	22	[50-84,7]

### Discussion et conclusions:

Grace au tableau, les forêts peuvent être classés en fonction de l'étendue de leur risque dans la région, où la forêt X est à faible risque et classée (faible) et les forêts Y sont de degré de danger moyen et sont classées sous (Moy), comme pour la forêt Z est l'efficacité du risque, c'est-à-dire (Fort).

- Les conditions climatiques dans la région de Khenchela affectant grandement le risque d'incendie, avec des températures élevées, des vents forts et une faible d'humidité (la température est supérieur à 30°, force du vent dépasse 30 km/s et l'humidité est inférieur à 30).
- C'est aussi l'une de principales raisons du déclenchement des incendies de forêt dans la région: les forêts de Beni-Imloul sont dangereuses en feux que les forêts de Ouled Yagoub car la première contient de grandes quantités de plantes herbacées (voir chapitre II).
- De plus la densité des arbres a un effet sur le risque d'incendies de forêt, par exemple DCF=0,813; le risque est 65,4.
- Ainsi que des habitations proches des forêts, loin des voies publiques, en plus leurs activités quotidiennes telles que les pâturages et l'agriculture (par exemple: DRR=58,4; DZH=1,27 et AH=5,5) il augmente le risque d'incendies de forêt et l'intervention de la lutte contre les incendies est difficile, ce qui accélère sa propagations.
- A travers les deux cartes de la situation des forêts de Khenchela et la carte de sensibilité (Chapitre II) et sur la base de l'influence des facteurs susmentionnés, les forêts peuvent être classés selon le degré de risque comme suit:
  1. Forêt de Beni-Imloul (M'SARA): Fort
  2. Forêt d'Ouled Yagoub (Tamza) Fort mais moins de risques que le premier.
  3. Forêt de Beni-Oudjana (Bouhmama, Yabous et Taouzianet) est Moyen.
  4. Les forêts les moins aux incendies, selon la carte sont des forêts de Ouled-Ensigna, (Faible)

Ce que nous concluons de cette discussion est que le fort impact du changement climatique dans la région peut conduire à des jours à risque plus élevé au cours de l'année, et même en dehors de la période estivale, plus la température est élevée, plus l'extension des sécheresses est grande et donc plus le risque est grand.

#### **Conclusion:**

A travers ce que nous avons étudié, nous soulignons que ce modèle proposé sera traité avec de nouvelles données futures pour les forêts de Khenchela avec l'introduction d'autres facteurs avec des données précises qui peuvent affecter l'occurrence des incendies de forêts, afin obtention des résultats plus précis et complets qui nous permettant d'éviter cette catastrophe.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale:

Les incendies de forêt font partie des problèmes naturels et majeurs qui détruisent les forêts du monde entier en général, et les forêts méditerranéennes en particulier.

Les incendies brûlent chaque année de vastes étendues de forêts à Khenchla, où la période entre 1985 et 2018 correspond aux zones brûlées 21773,6851 ha et nombre de foyer 633, ne mention spéciale est faite de la catastrophe qui a été enregistré en 2012, qui représentait la zone incendiée 1579 ha et le nombre de foyer est 37 pour les forêts de Beni-Imloul dans le Daira de Bouhmama, commune de M'SARA, cela nous amène à rechercher les causes du déclenchement des incendies et leur propagation, à prédire l'occurrence d'une catastrophe avant qu'elle ne se produise.

La manière la plus appropriée de prédire ce phénomène est d'utiliser le concept de logique floue dans notre étude, car il est considéré comme une approche appropriée pour traiter les phénomènes aléatoires, car les incendies sont un phénomène opaque et flou.

A cette fin, nous avons utilisé des variables floues pour analyser les incendies de forêts en fonction des causes susmentionnées.

Les résultats obtenus pour cette étude sont que le degré de gravité des incendies de forêt est en grande partie lié aux températures élevées, aux périodes prolongées de sécheresse et à la présence de vastes zones de combustible, en plus d'autres facteurs qui ont été abordés dans l'étude. Et par cela, nous pouvons déterminer le degré de risque des incendies de forêt et l'étendue de leur propagation.

# **Bibliographies**

## Bibliographies

---

### Bibliographie:

- [1] étude du risque incendie à l'aide de la géomatique: cas du foret de Nemoth (Algérie-Mascara)
- [2] Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatique à la C.C.N.U.C.C. Algérie, 2010, 14p.
- [3] Foret Méditerranéen par DjbelLouni.
- [4] Compendium national sur le statistique de l'environnement Alger, 2006, document publié par l'office national des statistiques sis 8 & 10 Rue des Mousseblin Alger, les forets 33p
- [5] Ministère de l'écologie du développement durable les feux de forêts.
- [6] KADIK 1986: Aperçu sur les sols et la végétation du pincerais d'Eghti/ Sidi-Bel-Abbès) Ann Rech Forest Alger 1-7-21.
- [7] HETLER & LILIN 1989: Les espaces boisés Méditerranéen et leurs ressources foret Méditerranéen
- [8] KADIK 1987: Contribution à l'étude de Pin d'Alep en Algérie écologique dendrométrie et morphologie. Ed, opu. Alger 508P.
- [9] FAO, 2000: Communication en flamme: actes d'une conférence internationale sur la participation des communautés à la lutte des incendies, Bureau régional de FAO pour l'Asie et la pacifique, publication 2005/25. ISBN 974-7946-29-7.
- [10] Abdelghafour 1974: Le développement de la foret algérienne par le reboisement et son insertion de l'économie national Mémoire Montpellier, 84p "Mémoire : Amar BERRIAH 30p".
- [11] Wilaya Khenchela ANDI 2015.
- [12] Projet Maghrebien de coopération avec le CRDI/CANAD "Expérimentation participative de modèles de gestion ressources forestiers dans la chaine montagneux de l'Atlas/Algérie Maroc-Tunisie" partie Algérie: zones forestier de Bouhmama et M'sara wilaya de Khenchela.
- [13] "Foret géosystmes et dynamique du milieu": le cas de l'Aurès, these doctorat "Mohamed Kamel eddine MEHARZI.
- [14] Evolution spatiotemporelle des écosystèmes forestiers à pin d'Alep de l'Aurès oriental (Algérie). KENZA GARAH-CHAOUKI CHAFAI-ABDELLAH BENTOUATI.
- [15] Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation impact et phénomène en Algérie. BENDER RADJIMED Habib ; ALATOU Djamel ; ARFA AZZEDINE Med Toufik, BENDER Khireddine, Jel classification Q230.Q280, p19.

## Bibliographies

---

- [16] Japport. A ; Blanchir.R ; et Alex Andrian , D ; 2002 ; cartographique du risque : recherche méthodique pour ,la mise en adéquation des besoins des données et des méthodes de C.E.M.A.G.R.E.F ; ESSMP-AMINES ; Agence M.T.D.A colique de restitution des travaux de recherche du S.I.G incendies de forêt, 4 décembre 2002, Marseille (France).
- [17] Trabaud 1976 : Inflammabilité et combustibilité des principales espèces de la garrigue-plant 11-117-139.
- [18] Roberston. J.M.S, 1979 : Etude critique de la bibliographie concernant les incendies de forêt au "U.S.A" et au CANADA et discussion des possibilités d'adaptation de certains techniques en France méditerranéenne, thèse 3<sup>ème</sup> cycle U.P.M.C Paris T.V, 245p
- [19] Prévention des risques d'origines naturelles et technologie PN8, Incendies de forêt, Derrières Mise à jour, fev, 2014.
- [20] Mauguen.G ; Lesne.p ; Petit. J.M, SALLE. B ; MARC.F ; 2012, Evaluation du risque incendie dans l'entreprise, Institut national des recherche et de sécurité, 32p
- [21] C.E.M.A.G.R.E.F 1989 : Le guide technique du forestier méditerranéenne français, chapitre IV, Protection de forêts contre les incendies division technique forestière, Aik-en-provenus (France).
- [22] Rebai 1983: Les incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien, cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Argeridj, Mem-Mag-uni Mentouri-Constantine, 83p.
- [23] Trabaud 1979: Etude du comportement du feu dans la garrigue du cheneKermes à partir des temperature et de vitesse de propagation Ann.Sci.For 13.38
- [24] Colin.p; jappiot.y, Marrel.M; Lampin. A; Vellion.C; s....2001: Protection du forêts contre les incendies, Edit. FAO/CEM – AGREF. Cahier FAO Conservation M°36, 149P
- [25] Projet de plan de prévention de risques d'incendies de forêts comme de plan de la tour. 13 octobre 2003.
- [26] Trabau. L : 1992, Les feux de forêts: mécanismes comportement et environnement Edition France-Sélection 278p.
- [27] MARC191; Boudy 1948; GRIM 1989, Medour 2008:
- Marc. P. 1916 : les incendies de forêt en Algérie. In : Notes les forêts de l'Algérie, Topographie Adolph Jourdan, Imprimer librairie Edition, Alger 331 p.
  - Boudy. P, 1948: Economie forestière Nord-Africaine, Milieu physique et humain, larose, Paris, Tome I, 684p.
  - GRIM. S, 1989: préaménagement et protection des forêts contre l'incendie, In: le préaménagement forestier, ministère de l'hydraulique d'Algérie et unité des eaux et forêts l'université catholique et louvain-la Neuve, Belgique, vol I, p271-289.

## Bibliographies

---

- Medour. SAHAR.O, 2008: Contribution à l'étude des feux de fortes en Algérie: Approche statistique exploratoire et socio-économique dans la wilaya de Tizi-ouazou, thèse Magister, Inabarrach 275p

[28] SARI 1976; PUYO 2008; MEDOUR .S.O 2008:

- SARI. D, 1976: L'homme et l'érosion dans l'ouarsemis (Algérie), SNED, 224p.

- PUYO 2008: les premiers temps de la mise en valeur coloniale des subéraies algériennes le triste épisode de concessions privées, acte du colloque wivex, o, l'homme et le liège p92, 102 en ligne [ <http://www.gessa.ex.es/documents/publication/suberare-algerie.pdf>]

- Medour. SAHAR.O, 2008: voir référence [27]

[29] Nathalie Mayer Journaliste [www.futura-scineces.com/panete/question-reponses/foret-feu-sont-causes](http://www.futura-scineces.com/panete/question-reponses/foret-feu-sont-causes)

[30] Ministère de l'écologie et du développement durable les feux de forts dossiers d'informations: risques naturel majeurs.

[31] Analyse de risque incendie sur en ERP coordonnateur: H.NIANDOU/Auteur G SAUCE

[32] Rothersemal 1983: How to predict the spread and intnsity of forest and Range fiers (40p). Gen. Tech.Rep.int-143-usda Forest services. Inter mountain. Forest and Range expriment station.

[33] Rothermel.R.C (1983) and KUSHALA. J.D &Ripple .w.j 1997: the role of terrain in a fire moscic of a temperate conferous forest. Forest ecology and Management 95-97-107.

[34] Rothermel (183) &Albini, F.A (1976): Estimating wild fire behavior and effects. Gen.Tech.Rep.INT. 30/92P°.Ogden.UT: us Department of Agriculture, Forest servise, Intermountain Forest and Range Expermient Station.

[35] Mr ARFA AZZEDINE MOHAMED TOUFIK: Mémoire "les incendies de forêt en Algérie stratégies de prévention et plans de gestion, p51.

[36] Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et du foret / incendies de forêt / service département d'incendie et de secours du Bas-Rhim.

[37] Bellma, R.E &Zaideh. L.A (1970): Discours making in a fuzzy environment ManagmentScience, 17,141-164. Doi: 10.1287/msc 17-4-B141.

[38] Leung .L .C 1 Cao, D (2001): On the efficacy of medlingmult-attribute descision making problem using AHP and sinarehy. 2001European Journal of operationalResearch, 132 (1) -39-49. Doi: 10-1016/S0377-2217 (00) 00111-9.

[39] FRANÇOIS CHEVRIE & FRANCOIS GUELY: Cahier technique n°191: la logique floue. CT191 Edition mars 1998.

## Bibliographies

---

[40] Roger Jang. J.S & J.R.JANG & Sun .c: Commande et identification floue.

[41] Contribution à l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaire pour l'évaluation du polymorphisme phénotyque et génétique des espèces u genre tamarix dans différents écotype de la zone steppique de Khenchela (Est Algérien), thèse Doctorat: Mr. KHABTHANE Abdelhamid, Figure: Carte des pentes de la région de Khenchela page 14.

## Résumé

---

### Résumé:

Notre travail vise à développer un modèle de prévision des incendies de forêts pour l'état de Khenchela, où l'une des techniques d'intelligence artificielle, qui est la logique floue, a été utilisée pour réduire la possibilité de telles catastrophes, là où les différents facteurs de base à l'origine des incendies ont été introduit, qui sont également des facteurs de propagation (chaleur, carburant et topographie). Les résultats de ce modèle nous ont quelque peu aidés à identifier la cause principale de l'incendie.

La prédiction des incendies de forêt et de leur degré de gravité repose sur une étude de la topographie locale de la région et ses conditions climatique, en plus de cela, l'étude des incendies historiques dans la zone permet d'identifier la fréquence des incendies dans la forêt en fonction de la présence de conditions régionales et climatiques qui lui sont appropriés, c'est-à-dire lorsque les même comportement lorsqu'ils se propagent, et leur intensité change en fonction de leur présence de comburant.

Lors de la prédiction préalable des causes des incendies, des interventions adaptés peuvent être mises en œuvre avec plus de précision et d'efficacité afin de ralentir l'accélération de la propagation des incendies, et des limiter leur infiltration dans de nouvelles zones, en connaissant les principales zones à partir des quelles intervenir, sans oublier la capacité des communes et des citoyens à intervenir et à fournir des moyens de lutte contre l'incendie à l'avance. La priorité est donnée à la sécurité des citoyens, ensuite pour éviter les risques d'incendies et enfin à la protection de la forêt.

**Mots clés:** Prédiction, Forêt, Risque, Incendie, Facteur, Logique floue.

### ملخص:

يهدف عملنا هذا إلى تطوير نموذج للتنبؤ بالحرائق الغابية لولاية خنشلة، حيث تم استخدام إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي والمتمثل في المنطق الضبابي للحد من إمكانية وقوع هكذا كوارث، حيث تم إدخال مختلف العوامل الأساسية المسببة للحرائق وهي عوامل انتشار أيضا (حرارة - وقود - تضاريس)، حيث كانت نتائج هذا النموذج قد ساعدتنا نوعا ما في معرفة الأسباب الرئيسية لنشوب الحريق.

التنبؤ بالحريق الغابوي ودرجة خطورته يستند إلى دراسة للتضاريس المحلية للمنطقة والظروف المناخية لها، صف إلى ذلك فإن دراسة الحرائق التاريخية للمنطقة تسمح لنا بالتعرف على مدى تكرار الحريق في الغابة حسب تواجد الشروط الإقليمية والمناخية فإن الحرائق تسلك نفس السلوك عند الانتشار وتتغير حدتها حسب وجود الوقود.

عند التنبؤ بأسباب الحرائق مسبقا يمكن تنفيذ التدخلات المناسبة بشكل أكثر دقة ونجاعة بهدف إبطاء تسارع انتشار الحرائق، والحد من تسلسلها إلى المناطق الجديدة وذلك بمعرفة المناطق الرئيسية التي يجب التدخل منها، دون أن ننسى قدرة البلديات والمواطنين على التدخل وتوفير وسائل الإطفاء مسبقا حيث يتم إعطاء الأولوية إلى سلامة المواطنين، ثم لتفادي خطر الحرائق وأخيرا حماية الغابة.

**الكلمات المفتاحية:** التنبؤ، الغابات، الخطر، حرائق، المنطق الضبابي.

## Abstract

---

### **Abstract:**

Our work aims to develop a model for predicting forest fires for the state of Khenchela, where one of the artificial intelligence techniques, which is Fuzzy Logic, was used to reduce the possibility of such disasters, where various basic factors causing fires have been introduced, which are also spread factors (heat, fuel and topography), the results of this model helped somewhat in identifying the main causes of the fires.

The prediction of forest fire and its degree of servity is based on a study of the local topography of the region and it's climatic conditions, in addition to that the study of historical fires in the area allows us to identify the frequency of fire in the forest according to the presence of regional and climatic conditions appropriate to it, in other words, when the same regional and climatic conditions are not, the fires behave the same when spreading and their intensity charges according to the presence of the fuel.

When the causes of fires are predicted in advance, appropriate interventions can be implemented more accurately and effectively in order to slow the spread of fires, limiting its infiltration into the new areas by knowing the main areas from which to intervene without forgetting the ability of municipalities and citizens to intervene and provide means of fire fighting in advance where priority is given to the safety of citizens, then to avoid the risk of fires and finally to protect the forest.

**Keywords:** Prediction, Forestry, Risk, Fire, Fuzzy logic