



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR DE KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département Mathématique et Informatique

Mémoire de fin d'études

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

Spécialité : Sécurité et Technologie Web

Soutenu par :

ABADA Manel & HANI Nadjeh

Une approche de prévision et détection des incendies des forêts: Etude de cas 'La forêt de la région de Khenchela'

Soutenu le 21/06/2023 par le jury :

Président du jury : DR. ABBAS Fayçal.

Examineur : DR. MEBARKI Djemoui.

Encadreur : DR. BEKHOUCHE Abdelaali.

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers Dieu qui m'a donné la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce modeste travail. Je souhaite également adresser tous mes remerciements à mon encadreur, Bekhouche Abdelaali, pour sa disponibilité, ses efforts et ses précieux conseils tout au long de ce projet de recherche.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide, que ce soit de près ou de loin, dans l'élaboration de ce travail. Leur contribution a été précieuse et a grandement contribué à sa réussite. Je suis profondément reconnaissant envers chacune de ces personnes et je tiens à les remercier chaleureusement.

-Hani Nadjeh-

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement mon encadrant, Monsieur Abdelaali BEKHOUCHE, pour sa guidance précieuse, son soutien constant et ses conseils avisés tout au long de cette aventure. Sa patience, son expertise et sa disponibilité ont été essentielles pour mener à bien ce projet.

Je voudrais également exprimer ma reconnaissance envers mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements permanents. Leur dévouement et leur confiance en moi ont été une source de motivation inépuisable.

Je tiens à remercier mes sœurs "Wallaa", "Rawan" et "Ikram", pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Mes sincères remerciements s'adressent également à mes amis proches, "Khellaf Roumaïssa" et "Aggoun Ibtissam", pour leur soutien, leurs précieux conseils et leur présence réconfortante tout au long de ce parcours. Leur amitié sincère a été une source de motivation et de réconfort.

Je suis infiniment reconnaissant envers ces personnes exceptionnelles dont le soutien inconditionnel a joué un rôle crucial dans la réalisation de ma mémoire et mon développement personnel et académique. Merci du fond du cœur.

-Abada Manel-

Dédicace

Je tiens à dédier humblement ce travail à ma petite famille, ainsi qu'à mon père, qui est mon pilier et qui a joué un rôle essentiel dans ma construction en tant que femme fière et confiante. Que Dieu bénisse mon père pour tout ce qu'il a fait pour moi.

À ma mère, ma raison d'être, qui m'a offert le précieux cadeau de la vie. Que Dieu veille sur elle et la protège toujours.

Résumé

Les forêts sont des écosystèmes naturels riches en biodiversité, essentiels pour la régulation du climat et la préservation de la vie sur Terre. Cependant, elles sont également exposées au risque d'incendie, qui peut causer des dégâts considérables à l'environnement, à la faune, à la flore et aux communautés locales. Le risque d'incendie de forêt peut être influencé par plusieurs facteurs, notamment les conditions météorologiques. Les changements climatiques ont également contribué à augmenter la fréquence et l'intensité des incendies de forêt dans la région de Khenchela.

La prévention et la prédiction des incendies de forêt présentent plusieurs avantages, tels que la capacité à anticiper les risques potentiels et à mettre en place des mesures préventives adéquates. Pour la prédiction des incendies de forêt en utilisant des techniques de data mining. Ces techniques permettent d'analyser de vastes ensembles de données historiques, comprenant des informations sur les incendies passés. En extrayant des règles de classification à partir de ces données, nous pouvons identifier les schémas et les relations qui prédisposent une région à des incendies de forêt.

Pour traiter ce problème, nous proposons l'utilisation des algorithmes Apriori et Reptile Search, qui sont des techniques de data mining bien établies.

Enfin, nous présentons les résultats obtenus à partir de l'application de ces algorithmes sur des ensembles de données réels, mettant en évidence un taux de précision de 75% et démontrant ainsi que notre modèle donne de bons résultats dans la prédiction des incendies de forêt.

Mots clés : fouille de données , apprentissage automatique , prédiction , les incendies de forêt , Métaheuristique .

Abstract

Forests are natural ecosystems rich in biodiversity that are essential for climate regulation and the preservation of life on Earth. However, they are also exposed to the risk of wildfires, which can cause significant damage to the environment, wildlife, flora, and local communities. The risk of forest fires can be influenced by several factors, including weather conditions. Climate change has also contributed to increasing the frequency and intensity of wildfires in the Khenchela region. Preventing and predicting forest fires have several benefits, such as the ability to anticipate potential risks and implement adequate preventive measures.

For predicting forest fires using data mining techniques, these methods allow for the analysis of vast sets of historical data, including information about past fires. By extracting classification rules from this data, we can identify patterns and relationships that predispose a region to forest fires.

To address this problem, we propose the use of the Apriori and Reptile Search algorithms, which are well-established data mining techniques.

Finally, we present the results obtained from the application of these algorithms on real datasets, indicating an accuracy rate of 75% and demonstrating that our model performs well in predicting forest fires.

Keywords : data mining , machine learning , prediction , forest fires , Metaheuristics .

Sommaire

Introduction générale	1
1 Les incendies des forêts	2
1.1 Introduction :	3
1.2 Définition :	3
1.2.1 Le feu :	3
1.2.2 L'incendie :	3
1.2.3 L'incendie de forêt :	3
1.2.4 La forêt :	4
1.3 Les types de feu :	4
1.3.1 Les feux de sol :	5
1.3.2 Les feux de surface :	5
1.3.3 Les feux de cimes :	5
1.3.4 Les sautes de feu :	5
1.4 Les causes des incendies :	5
1.4.1 Les Causes naturelles :	5
1.4.2 Les Causes humaines :	6
1.5 Les impacts des incendies :	6
1.5.1 Impacts environnementaux :	6
1.5.2 Impacts Economique :	6
1.5.3 Impacts sociaux :	6
1.6 Les facteurs influents dans la propagation du feu :	7
1.6.1 Les conditions météorologiques :	7
1.6.2 Les caractéristiques de la végétation :	7
1.6.3 Les conditions topographiques :	7
1.7 Les paramètres influent sur les incendies de forêt :	8
1.7.1 L'humidité :	8
1.7.2 La température :	8
1.7.3 Le vent :	8
1.8 La gestion des risques d'incendie :	9
1.9 Les incendies en Algérie :	9
1.10 Conclusion :	10
2 Les Techniques de data mining	11
2.1 Introduction :	12
2.2 Définition :	12
2.3 Objectif du data mining :	13
2.4 Le processus de data mining :	14
2.5 Les taches de data mining :	15
2.5.1 La classification :	16
2.5.2 L'estimation :	17
2.5.3 La prédiction :	18

2.5.4	L'association :	18
2.5.5	Le clustering :	19
2.5.6	La description :	19
2.6	Les travaux connexes :	20
2.7	Conclusion :	22
3	L'approche proposée	23
3.1	Introduction :	24
3.2	Lieu d'étude :	24
3.3	Les étapes de l'approche proposée :	25
3.3.1	La collection des données :	26
3.3.2	Le prétraitement des données :	27
3.3.3	La transformation des données :	29
3.3.4	Le traitement des données :	30
3.4	Résultats expérimentaux :	38
3.4.1	Réglage de paramètres :	38
3.4.2	Discussion des résultats :	40
3.4.3	Discussion des résultats :	43
3.5	L'évaluation de modèle :	44
3.6	Environnement de travail et les outils utilisé :	45
3.6.1	Environnement matériel :	45
3.6.2	Environnement logiciel :	45
3.6.3	Langage de programmation :	46
3.6.4	Les bibliothèques :	47
3.7	Conclusion :	48
	Conclusion générale	49
A	Les données météorologiques de la wilaya de khenchele 2010-2022	I
B	Des informations sur les feux de Forêt de khenchela	VI

Table des figures

1.1	Triangle de feu [3]	4
1.2	Les différents types de feu. [3]	4
1.3	Mécanismes de la propagation du feu. [9]	7
1.4	Mécanismes de la propagation du feu [9]	8
1.5	Superficie moyenne brûlée par incendie au cours des 10 dernières années.[11]	9
2.1	Data mining est l'union de disciplines variées.[16]	12
2.2	le monde est riche en données mais pauvre en connaissance.[19]	13
2.3	recherche de connaissances (modèles intéressants) dans les données. [19]	13
2.4	Le processus de data mining [20]	14
2.5	Les techniques de data mining	15
2.6	processus de la classification. [26]	16
2.7	processus de l'estimation.[28]	17
2.8	processus de l'association.[24]	18
2.9	processus de clustering. [31]	19
3.1	Les statistiques des incendies de forêt de la willaya de khenchela de 2010 à 2022 [40]	24
3.2	Les étapes de l'approche proposée.	25
3.3	les données des incendies de forêt de la wilaya de khenchela 2022	26
3.4	Les attributs de notre dataset	29
3.5	Dataset après le prétraitement.	30
3.6	Fonctionnement de l'algorithme apriori. [41]	31
3.7	Le principe de la chasse des crocodiles.[42]	32
3.8	la première étape (encerclement). [42]	34
3.9	la deuxième étape (exploitation). [42]	35
3.10	Fonctionnement de RSA [43]	35
3.11	Optimisation du candidat de l'algorithme Apriori avec l'algorithme reptile search (App-Rsa)	37
3.12	La matrice de confusion. [45]	44
3.13	L'interface d'anaconda. [46]	46
3.14	L'interface graphique de spyder(IDE).[46]	46
B.1	les incendies de Forêt de la willya de khenchela 2011	VI
B.2	les incendies de Forêt la willaya de khenchela 2012	VI
B.3	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2013	VII
B.4	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2014	VII
B.5	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2015	VII
B.6	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2016	VII
B.7	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2017	VIII
B.8	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2018	VIII
B.9	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2019	VIII
B.10	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2020	VIII
B.11	les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2021	IX

TABLE DES FIGURES

B.12 les incendies de Forêt de la willaya de kenchela 2022 IX

Liste des tableaux

3.1	les données météorologiques à khenchela 2022	26
3.2	Le résultat de la collection des données 2022	27
3.3	La catégorisation des données.	28
3.4	La catégorisation des données.	28
A.1	les données météorologiques à khenchela 2010	I
A.2	les données météorologiques à khenchela 2011	I
A.3	les données météorologiques à khenchela 2012	II
A.4	les données météorologiques à khenchela 2013	II
A.5	les données météorologiques à khenchela 2014	II
A.6	les données météorologiques à khenchela 2015	III
A.7	les données météorologiques à khenchela 2016	III
A.8	les données météorologiques à khenchela 2017	III
A.9	les données météorologiques à khenchela 2018	IV
A.10	les données météorologiques à khenchela 2019	IV
A.11	les données météorologiques à khenchela 2020	IV
A.12	les données météorologiques à khenchela 2021	V
A.13	les données météorologiques à khenchela 2022	V

Introduction générale

Les catastrophes naturelles comme les tremblements de terre, les tornades, les inondations et les incendies de forêt ont un impact direct ou indirect sur l'environnement et la vie humaine. Les incendies de forêt sont particulièrement complexes et constituent l'une des crises naturelles les plus difficiles auxquelles notre communauté est confrontée.

Les études statistiques mondiales ont révélé une augmentation quotidienne de la fréquence des incendies, ce qui entraîne des conséquences catastrophiques pour la vie humaine et la biodiversité. Cette situation a suscité l'attention des gouvernements, des donateurs et des organisations non gouvernementales, qui cherchent à mettre en place de nouvelles stratégies et à trouver des solutions pour faire face à cette crise.

La prévention des incendies est considérée comme une technique essentielle pour réduire les conséquences dangereuses des incendies. Ainsi, les scientifiques ont travaillé fortement pour élaborer des stratégies et des politiques efficaces visant à prédire l'incidence des incendies et à maîtriser leur propagation, afin de limiter les dégâts et de réduire leur impact sur nos sociétés.

L'intelligence artificielle et les techniques de data mining font partie des approches utilisées par les scientifiques pour prédire les incendies de forêt en raison de leur efficacité dans l'exécution rapide de nombreuses tâches et de leur capacité à réduire les efforts humains.

Dans ce mémoire, nous proposons une approche basée sur les techniques de data mining pour prédire les incendies de forêt. Nous évaluons ce modèle en utilisant une série d'incendies de forêt survenus à Khenchela au cours des dernières années.

Notre mémoire est structuré de la manière suivante :

- **Chapitre 1** : Examine en détail les incendies de forêt, leur définition, leurs types, leurs caractéristiques, leurs causes, leurs facteurs, leurs conséquences, les méthodes de prévention et les paramètres influent sur les incendies de forêt. Nous présenterons également des statistiques relatives à cette catastrophe, notamment en Algérie.
- **Chapitre 2** : Ce chapitre fournira une introduction complète aux techniques de data mining, en expliquant leur définition, leurs objectifs, leur processus et les différentes tâches qui y sont associées. De plus, nous examinerons les travaux pertinents dans notre domaine d'intérêt, ce qui nous permettra de situer notre étude dans le contexte de la recherche existante.
- **Chapitre 3** : Se consacre en détail à notre étude, avec une description approfondie de l'approche et de l'architecture proposée, ainsi qu'une explication détaillée du fonctionnement de notre proposition. Et analyse les performances de notre modèle proposé.

En conclusion, nous récapitulerons notre approche et présenterons les perspectives de recherche.

Chapitre **1**

Les incendies des forêts

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur les incendies des forêts (les causes, Les conséquences et les facteurs, ...) et nous présenterons également quelques statistiques liées à ce phénomène en Algérie.

1.2 Définition :

1.2.1 Le feu :

Le feu est la conséquence du brulage des plantes, est une réaction chimique qui peut être déclenchée par des sources de chaleur d'origine naturelle ou artificielle et qui nécessite la présence de combustible et d'oxygène . [1]

1.2.2 L'incendie :

Un incendie est un phénomène de feu puissant et nuisible pour les êtres humains ainsi que pour la nature. Il se produit lorsqu'une réaction de combustion non contrôlée se produit dans un espace et une durée déterminés. [2]

1.2.3 L'incendie de forêt :

L'incendie de forêt est caractérisé par la progression incontrôlée des flammes sur la totalité des éléments végétaux d'une zone donnée, incluant les arbres, les broussailles, les prairies et les terres cultivables.[1]

Pour allumer un feu, il est nécessaire de disposer de ces trois éléments fondamentaux : une source de chaleur, du combustible et de l'oxygène, ce qu'on appelle le triangle de feu. [2]

- Combustible : Les matériaux combustibles sont ceux qui ont la capacité de brûler. Ces matériaux peuvent être solides (bois, charbon, ...), liquides (essence, acétone, ...) ou gazeux (méthane, butane, ...).[2]
- Comburant : est une substance qui, lorsqu'elle entre en contact avec un combustible, permet la combustion de ce dernier. Exemple : l'oxygène, l'air, les chlorates et les peroxydes. [2]
- Une source de chaleur : élément apportant l'énergie nécessaire au démarrage de la réaction chimique de combustion, aussi appelée énergie d'activation. Exemples : surface chaude, flamme,... [2]



FIGURE 1.1 – Triangle de feu [3]

1.2.4 La forêt :

L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a fourni une définition de la forêt selon laquelle celle-ci doit s'étendre sur une superficie supérieure à 0,5 hectare et présenter une densité arborée d'au moins 10%, avec des arbres atteignant une hauteur minimale de 5 mètres ou ayant le potentiel de le faire sur place.[4]

1.3 Les types de feu :

Après l'éclosion, un incendie peut se manifester sous diverses formes, qui dépendent des caractéristiques de la végétation et des conditions climatiques, telles que la force et la direction du vent. En conséquence, plusieurs types d'incendies peuvent être identifiés :

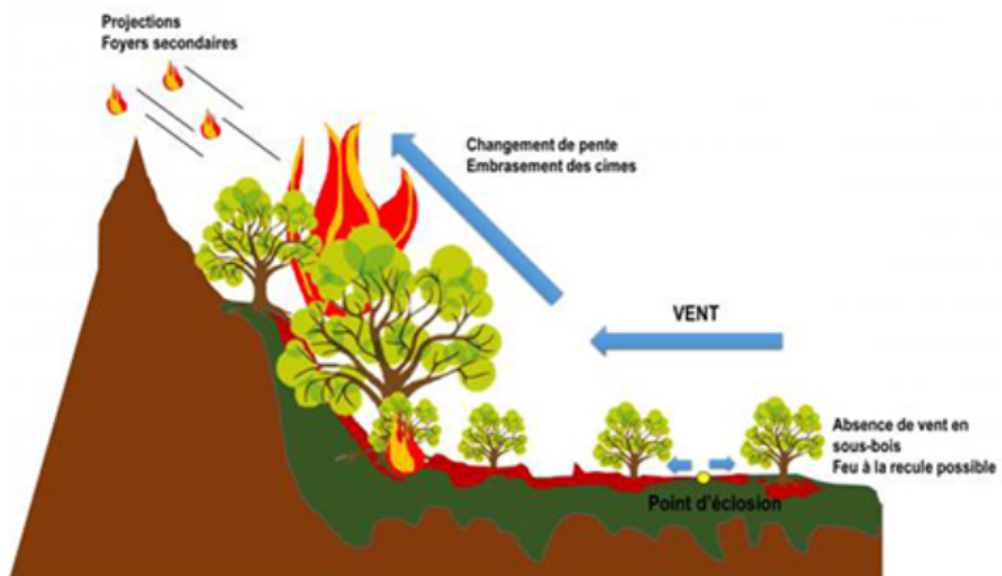


FIGURE 1.2 – Les différents types de feu. [3]

1.3.1 Les feux de sol :

Les feux de sol sont caractérisés par la combustion de la matière organique présente dans la litière, l'humus et les tourbières. Leur propagation est relativement lente, car ils sont alimentés par une combustion incandescente. [5]

1.3.2 Les feux de surface :

Désignent les incendies qui se propagent au niveau des strates basses de la végétation, incluant la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les arbustes bas. Ils ont tendance à se propager par rayonnement et touchent principalement les écosystèmes de garrigue et de landes.[5]

1.3.3 Les feux de cimes :

Se caractérisent par la combustion de la partie supérieure des arbres, créant une couronne de flammes. Ces feux libèrent généralement de grandes quantités d'énergie et se propagent rapidement, en particulier lorsqu'il y a du vent et que le combustible est sec. Il est important de noter que ces feux peuvent se produire simultanément avec les feux de sol et les feux de surface sur une même zone. [5]

1.3.4 Les sautes de feu :

Les sautes de feu se produisent lorsque des particules enflammées ou incandescentes, appelées brandons, sont projetées en avant du front de flamme, et peuvent causer des feux secondaires. Ces brandons sont transportés par le vent dans la colonne de convection et peuvent causer des feux à l'avant de l'incendie principal. Les brandons de grande taille peuvent brûler pendant une longue période et être transportés sur de grandes distances, parfois jusqu'à 10 ou 20 km dans des cas exceptionnels. [6]

1.4 Les causes des incendies :

La détermination de la cause d'un incendie de forêt peut être complexe en raison du manque de preuves matérielles concrètes. Par conséquent, il est fréquent que le pourcentage de cas où la cause reste inconnue soit élevé. Cette observation a été corroborée par la Direction des forêts de la wilaya de Khenchela. Outre cette observation marquante, les incendies de forêt peuvent avoir diverses causes, notamment :

1.4.1 Les Causes naturelles :

La végétation ne prend pas feu seule, même en cas de forte sécheresse. Dans le Bassin Méditerranéen, la foudre est la seule cause naturelle connue d'incendies de forêt, bien qu'elle soit relativement rare et ne concerne que 1 à 5 % des cas. Les éruptions volcaniques peuvent également déclencher des incendies de forêt, mais cela est exceptionnel dans cette région. Les orages secs sont plus fréquents en forêt boréale. [6]

1.4.2 Les Causes humaines :

Les causes humaines, qu'elles soient volontaires ou involontaires, sont les principales origines des incendies de forêt dans le Bassin Méditerranéen. Cependant, leur répartition varie selon les contextes sociaux, économiques, politiques et législatifs propres à chaque pays de la région. En somme, les causes humaines jouent un rôle majeur dans la survenue des incendies de forêt dans l'ensemble des pays du Bassin Méditerranéen.

- L'imprudence : Par des jets de mégots, des pique-niques en forêt ou des jeux d'enfants. [5]
- Les accidents : Les sources potentielles d'incendie incluent les infrastructures de transport telles que les chemins de fer et les voitures, ainsi que les lignes électriques et les sites d'enfouissement des déchets. Ces endroits peuvent présenter un risque d'incendie. [5]
- La pyromanie : La pyromanie est une cause d'incendies de forêt, où certains individus mettent le feu par plaisir ou pour être reconnus. Cela peut être dû à un degré de maladie mentale ou de responsabilité de l'individu. Cependant, cette cause reste limitée même si elle est souvent attribuée à tort à un pyromane en cas d'incertitude sur l'origine d'un feu. [6]

1.5 Les impacts des incendies :

1.5.1 Impacts environnementaux :

Les feux de forêt peuvent occasionner des dégâts considérables sur l'écosystème. Les gaz toxiques et la fumée émis par les flammes peuvent entraîner une pollution de l'air et de l'eau, affectant la santé des êtres vivants et la qualité de l'environnement. En outre, ces feux peuvent détruire les habitats naturels, menaçant ainsi la faune et la flore indigènes. Les sols brûlés peuvent également devenir moins fertiles, avec des impacts potentiels sur l'agriculture et la production alimentaire. [7]

1.5.2 Impacts Economique :

Un incendie peut avoir des conséquences économiques significatives, notamment en termes de pertes matérielles pour les entreprises et les particuliers, englobant les bâtiments, les équipements et les stocks. De plus, les incendies peuvent entraîner des perturbations pour l'activité économique d'une région en détruisant des infrastructures importantes telles que les routes, les ponts et les réseaux de communication. Ceci peut avoir des impacts négatifs sur les entreprises qui comptent sur ces infrastructures pour leurs activités. [7]

1.5.3 Impacts sociaux :

Les feux peuvent entraîner des répercussions sociales considérables, en particulier pour les individus touchés qui peuvent perdre leur habitation, leurs biens personnels et leur source de revenus. Les conséquences émotionnelles des incendies peuvent également être significatives, en particulier si des vies sont perdues. Les communautés touchées peuvent nécessiter un soutien pour se rétablir après de tels événements traumatisants. [7]

1.6 Les facteurs influents dans la propagation du feu :

1.6.1 Les conditions météorologiques :

Les périodes de conditions météorologiques spéciales telles que les périodes de sécheresse et les périodes de vents forts augmentent le risque d'incendie. Le vent contribue à la propagation du feu en accélérant le dessèchement des sols et des végétaux, ce qui peut causer la dispersion des éléments incandescents et des arcs électriques. En outre, la chaleur dessèche les plantes par évaporation et libère des essences volatiles, ce qui peut également aider à la propagation des flammes pendant les périodes les plus chaudes. Enfin, la foudre peut également déclencher des incendies, représentant à 4% à 7% de tous les départs de feu, surtout en été, au cœur des massifs forestiers. [8]



FIGURE 1.3 – Mécanismes de la propagation du feu. [9]

1.6.2 Les caractéristiques de la végétation :

Les incendies peuvent être influencés par les caractéristiques de la végétation et leur propension à brûler est souvent associée au taux d'humidité, qui est déterminé par les conditions météorologiques. En outre, l'état général de la zone forestière, y compris les caractéristiques du peuplement forestier (telles que la disposition des strates, la densité et les espèces présentes) ainsi que la composition chimique de la végétation (notamment la présence de résine), peuvent jouer un rôle déterminant dans la survenue d'incendies. Enfin, le manque d'entretien et l'absence de gestion des zones forestières peuvent conduire à une accumulation de combustibles et augmenter la probabilité de départ et de propagation des feux. [8]

1.6.3 Les conditions topographiques :

Les caractéristiques topographiques ont un impact sur la vitesse de propagation des incendies. Dans une zone plane, le feu peut facilement être accéléré par le vent. En revanche, dans une zone montagneuse avec un relief irrégulier, la progression du feu est accélérée dans les pentes ascendantes et ralentie dans les pentes descendantes. [8]

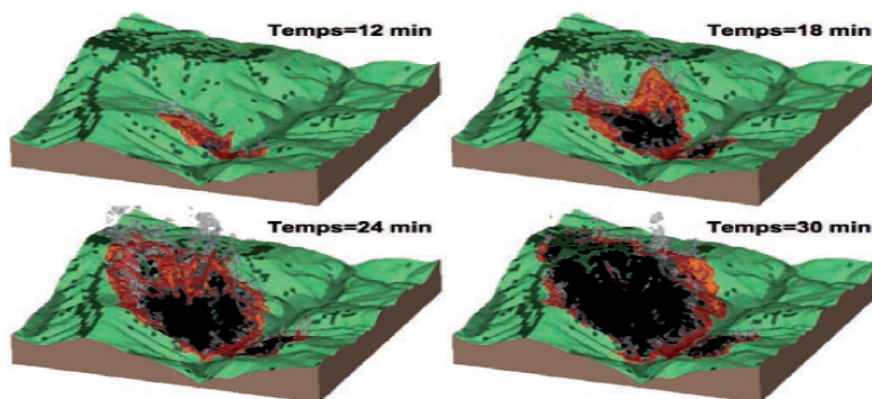


FIGURE 1.4 – Mécanismes de la propagation du feu [9]

1.7 Les paramètres influent sur les incendies de forêt :

Les incendies de forêt sont des événements dévastateurs qui peuvent se produire à tout moment et en tout lieu. De nombreux facteurs peuvent contribuer à la survenue et à la propagation de ces incendies, mais certains des plus importants sont la température, l'humidité et la vitesse du vent.

1.7.1 L'humidité :

L'humidité joue un rôle important dans l'incendie de forêt. Plus l'humidité relative est basse, plus l'air est sec, ce qui peut dessécher la végétation et la rendre plus inflammable. Cela est particulièrement vrai pour les broussailles et les herbes, qui peuvent rapidement sécher et prendre feu lorsqu'elles sont exposées à des températures élevées et à des niveaux d'humidité faibles.

D'autre part, lorsque l'humidité est élevée, l'air est plus humide et peut aider à empêcher la végétation de se dessécher. Cela peut rendre la végétation moins inflammable et réduire le risque d'incendie de forêt.

Cependant, il est important de noter que l'humidité ne peut pas prévenir complètement les incendies de forêt. Même dans des conditions d'humidité élevée, des sources d'allumage telles que la foudre, les activités humaines, ou même des incendies antérieurs peuvent déclencher des incendies de forêt.[10]

1.7.2 La température :

La température est un facteur clé qui influence les incendies de forêt. Des températures élevées peuvent assécher les combustibles forestiers et augmenter leur inflammabilité, ce qui rend les incendies plus susceptibles de se déclarer et de se propager rapidement. De plus, les températures élevées peuvent également causer des vents chauds, qui peuvent souffler les étincelles et les flammes sur de longues distances, favorisant ainsi la propagation de l'incendie. Les conditions météorologiques chaudes et sèches sont souvent associées à des incendies de forêt, et les prévisions météorologiques sont donc essentielles pour aider à prévoir les conditions de température et à planifier les opérations de lutte contre les incendies de forêt. [10]

1.7.3 Le vent :

Le vent est un facteur important qui influence les incendies de forêt. Les vents forts peuvent accélérer la propagation de l'incendie, rendre les conditions météorologiques instables et imprévisibles, et créer des phénomènes météorologiques dangereux tels que les tempêtes de feu. Les prévisions météorologiques précises et en temps réel sont donc essentielles pour aider à prévoir les conditions de vent et à planifier les opérations de lutte contre les incendies de forêt. [10]

1.8 La gestion des risques d'incendie :

La gestion des risques liés aux incendies de forêt nécessite des mesures spécifiques pour chaque phase du cycle du risque. La prévention et la préparation comprennent la mise en place de plans d'action pour la prévention des incendies de forêt, la surveillance des activités à risque et l'investigation des causes des incendies. Les mesures de réduction et de maîtrise des incendies de forêt et le développement d'infrastructures de prévention font également partie des actions de prévention et de préparation. Enfin, des périmètres à faible charge de combustible sont établis dans les zones périurbaines et peuvent nécessiter l'utilisation de brûlages dirigés. [1]

1.9 Les incendies en Algérie :

En Algérie, les forêts s'étendent sur environ 4,1 millions d'hectares, représentant 11% de la surface nord du pays. Les espèces forestières qui les composent sont très inflammables, avec une majorité de pins d'Alep 68% suivis de chênes-lièges 21% et de zones plus restreintes couvertes d'eucalyptus, de cèdres et de chênes verts. Ces massifs forestiers sont pour la plupart situés dans des reliefs escarpés, le long des deux grandes chaînes de montagnes qui traversent le nord du pays d'est en ouest.

Chaque été, en Algérie est exposée à une menace constante d'incendie, qui peut dévorer des milliers d'hectares de forêts et de maquis. Cette situation est aggravée par le manque d'infrastructures et d'accessibilité des forêts en Algérie, ce qui rend l'intervention en cas d'incendie encore plus difficile.

En 2021, la saison des feux de forêt en Algérie a été marquée par une exceptionnelle étendue des incendies dans certaines zones forestières des wilayas. Le nombre d'incendies déclarés et les zones brûlées ont atteint un niveau inhabituel, causant des dégâts humains et matériels considérables. Au total, plus de 100 000 hectares ont été ravagés par le feu, suite à 1 631 incendies enregistrés. Cette superficie est la plus importante enregistrée depuis plus de dix ans. [11]

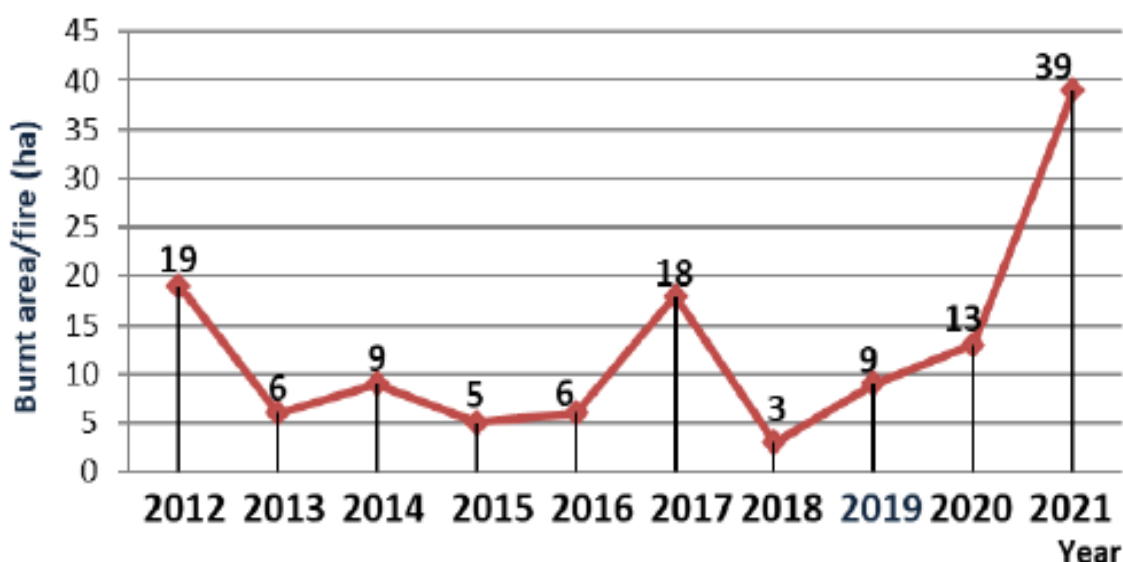


FIGURE 1.5 – Superficie moyenne brûlée par incendie au cours des 10 dernières années.[11]

1.10 Conclusion :

Après avoir examiné cette étude, il est évident que le feu a eu un rôle crucial dans la configuration actuelle de l'écosystème forestier méditerranéen algérien. Tout au long de l'histoire de la région méditerranéenne, le feu a aidé à modeler le paysage. Cependant, une augmentation notable de la fréquence des incendies a été observée au cours des dernières décennies, ce qui aura des conséquences graves sur un écosystème déjà vulnérable si les risques liés au feu ne sont pas contrôlés.

Par conséquent, dans le prochain chapitre, nous allons définir les méthodes et techniques les plus importantes pour prédire et surveiller les risques d'incendie en utilisant des outils de fouille de données.

Chapitre **2**

Les Techniques de data mining

2.1 Introduction :

De nos jours, l'informatique est omniprésente dans presque tous les domaines, tels que la santé, l'éducation, l'économie et la cosmologie. Cette présence est devenue une partie intégrante de la vie quotidienne de l'individu, facilitant l'utilisation et la compréhension de nombreux domaines complexes. Un domaine important qui a été grandement impacté par cette évolution de l'informatique est celui de la protection de l'environnement. Le développement continu de la technologie et de l'informatique a permis l'émergence de logiciels de surveillance qui améliorent la précision des résultats. Ce domaine a suscité beaucoup d'intérêt chez les scientifiques, en particulier chez les spécialistes de l'intelligence artificielle, des fouilles de données "data mining" et de l'apprentissage automatique "Machine Learning".

2.2 Définition :

Le Data mining est un domaine pluridisciplinaire permettant, à partir d'une très importante quantité de données brutes, d'en extraire de façon automatique ou semi-automatique des informations cachées, pertinentes et inconnues auparavant en vue d'une utilisation industrielle ou opérationnelle de ce savoir. Il peut également mettre en avant les associations et les tendances et donc servir d'outil de prévisions au service de l'organe décisionnel.[12]

Ils existent d'autres définitions :

- Le data mining est le processus de découverte des caractéristiques et des tendances utiles dans de grands ensembles de données . [13]
- Le Data Mining est un nouveau champ situé au croisement de la statistique et des technologies de l'information (bases de données, intelligence artificielle, apprentissage,.. etc.) dont le but est de découvrir des structures dans de vastes ensembles de données. [14]
- Il s'agit d'un processus interactif, itératif et inductif qui consiste à découvrir des modèles de données valides, nouveaux, utiles et compréhensibles dans les bases de données larges. [15]



FIGURE 2.1 – Data mining est l'union de disciplines variées.[16]

- Caractéristiques des modèles recherchés et obtenus par un processus de Data mining :

- Valide : adapté aux besoins futurs.
- Nouveau : Ce qui est recherché est imprévisible.

- Utiles : facilitent la prise de décision par l'utilisateur.
- Compréhensibles : Les informations obtenues doivent être pertinentes et accessibles pour une compréhension aisée.[17]

2.3 Objectif du data mining :

L'objectif du data mining, également appelé exploration de données, est d'extraire des informations significatives et utiles à partir d'ensembles de données volumineux et complexes. [18]



FIGURE 2.2 – le monde est riche en données mais pauvre en connaissance.[19]



FIGURE 2.3 – recherche de connaissances (modèles intéressants) dans les données. [19]

2.4 Le processus de data mining :

Les étapes du processus de data mining :

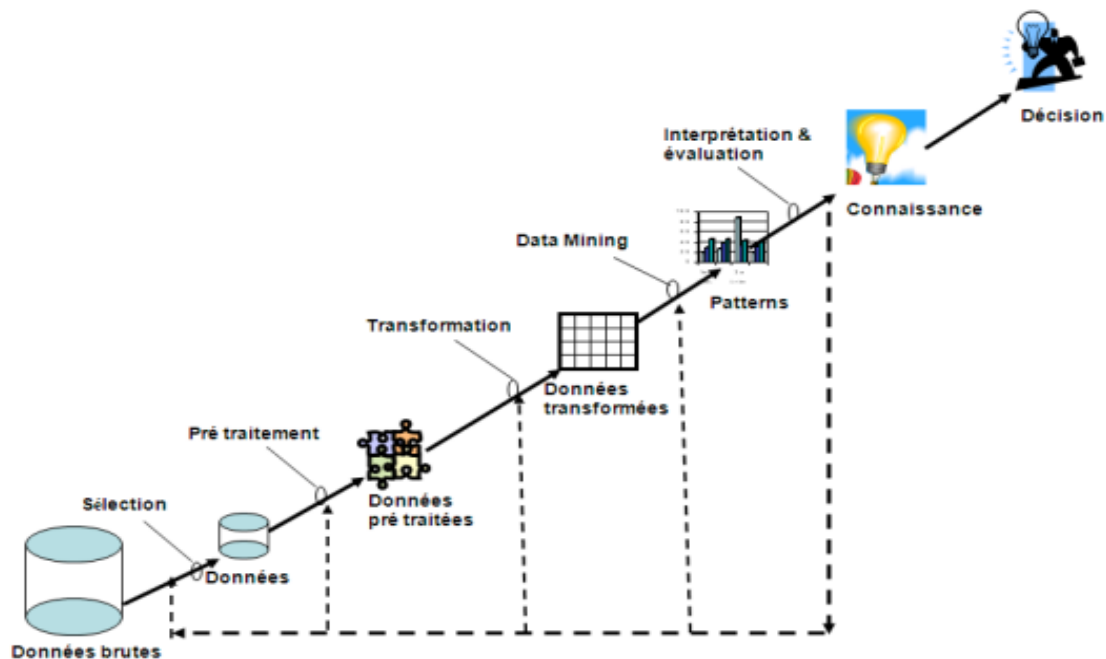


FIGURE 2.4 – Le processus de data mining [20]

- 1-**Collecte de données** : implique de rassembler diverses sources de données, qui peuvent être de natures différentes, en vue de les stocker dans une base de données. [21]
- 2-**Nettoyage des données** : Le nettoyage des données consiste à éliminer de la collection les données bruyantes ou non pertinentes. [22]
- 3-**Intégration de données** : à cette étape, plusieurs sources de données, souvent hétérogènes, peuvent être combinées en une source commune. [22]
- 4-**Sélection de données** : On détermine les données pertinentes pour l'analyse et on les extrait de la collection de données. [22]
- 5-**La transformation de données** : Consiste à convertir les données sélectionnées en formes adaptées à la procédure de fouille de données. [22]
- 6-**Data mining** : est une étape cruciale durant laquelle des techniques intelligentes sont utilisées pour extraire des motifs potentiellement utiles. [23]
- 7-**Évaluation de motifs** : Pendant l'évaluation de motifs, on identifie les motifs potentiellement intéressants en se basant sur une mesure donnée pour représenter des connaissances. [22]
- 8-**Représentation de connaissances** : est la phase finale où les connaissances découvertes sont visuellement représentées à l'utilisateur. Cette étape essentielle utilise des techniques de visualisation pour aider les utilisateurs à comprendre et interpréter les résultats de l'exploration de données. [23]

2.5 Les taches de data mining :

Les techniques de fouille de données sont les processus d'identification de modèles et de tendances dans les données afin d'obtenir des informations utiles à partir d'un ensemble de données volumineux pour pouvoir juger ou décider. De nombreuses techniques de fouille de données ont été développées et utilisées dans des projets de fouille de données, notamment, la classification, l'estimation, la prédiction, l'association, le clustering et la description, etc. Chaque technique possède ses propres règles et méthodes qui déterminent le type de problème qu'elle résout. [24]

Les trois premières tâches citées relèvent de l'exemple du Data Mining supervisé (prédictive) : Il permet de prédire les valeurs futures ou inconnues d'une variable à partir de variables réelles. [24]

L'association, le clustering et la description sont des taches non-supervise (descriptive) : consiste à identifier les caractéristiques générales des données analysées, puis à créer des modèles précis permettant de les décrire. [24]

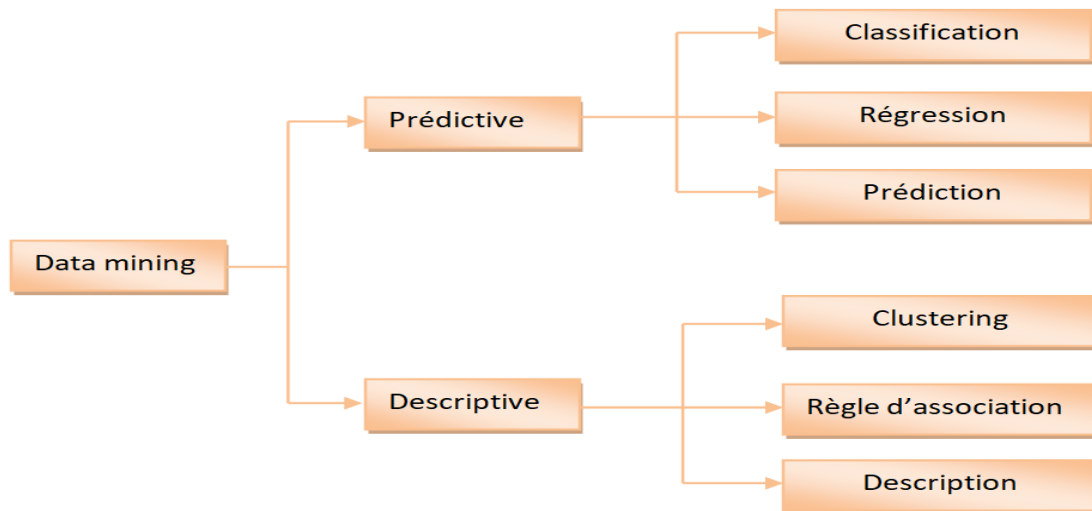


FIGURE 2.5 – Les techniques de data mining

2.5.1 La classification :

La classification est utilisée pour attribuer chaque élément d'un ensemble de données à l'un des ensembles de classes ou de groupes prédéfinis. La tâche d'analyse de données de classification consiste à construire un modèle ou un classificateur pour prédire les étiquettes catégorielles (les attributs d'étiquettes de classe). La classification est une fonction d'exploration de données qui attribue des éléments d'une collection à des catégories ou des classes cibles. L'objectif de la classification est de prédire avec précision la classe cible pour chaque cas dans les données. [25]

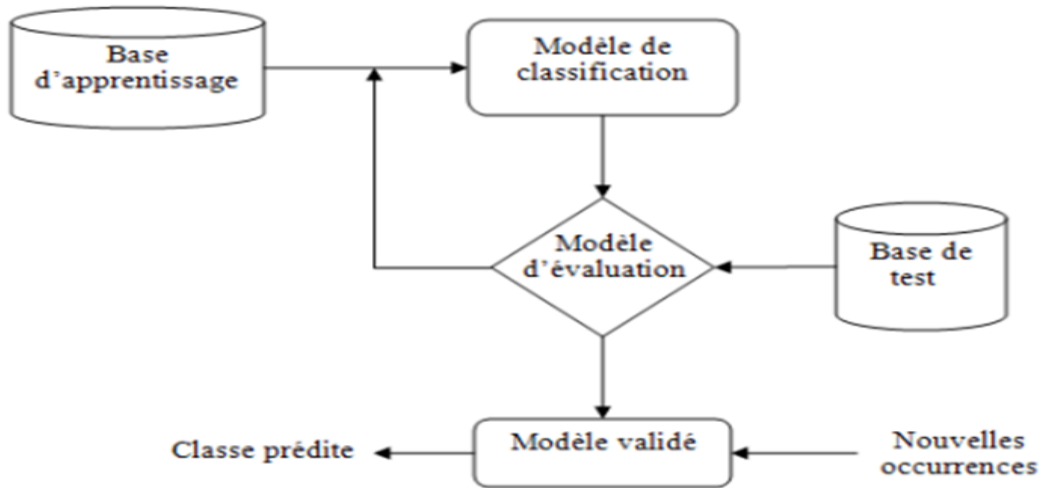


FIGURE 2.6 – processus de la classification. [26]

-Les techniques les plus appropriées à la classification sont :

- Les arbres de décision.
- Les Réseaux de neurones.
- La machine à vecteurs de support (SVM). [27]

2.5.2 L'estimation :

L'estimation consiste à établir la relation entre un ensemble de prédicateurs et une variable cible en utilisant des données "complètes", c'est-à-dire des données pour lesquelles les valeurs sont connues à la fois pour les prédicateurs et pour la variable cible. Par la suite, cette relation est utilisée pour déduire la valeur d'une variable cible inconnue en se basant sur la connaissance des prédicateurs. [18]

Contrairement à la classification qui opère sur une variable cible catégorielle, l'estimation se concentre sur une variable cible numérique. [18]

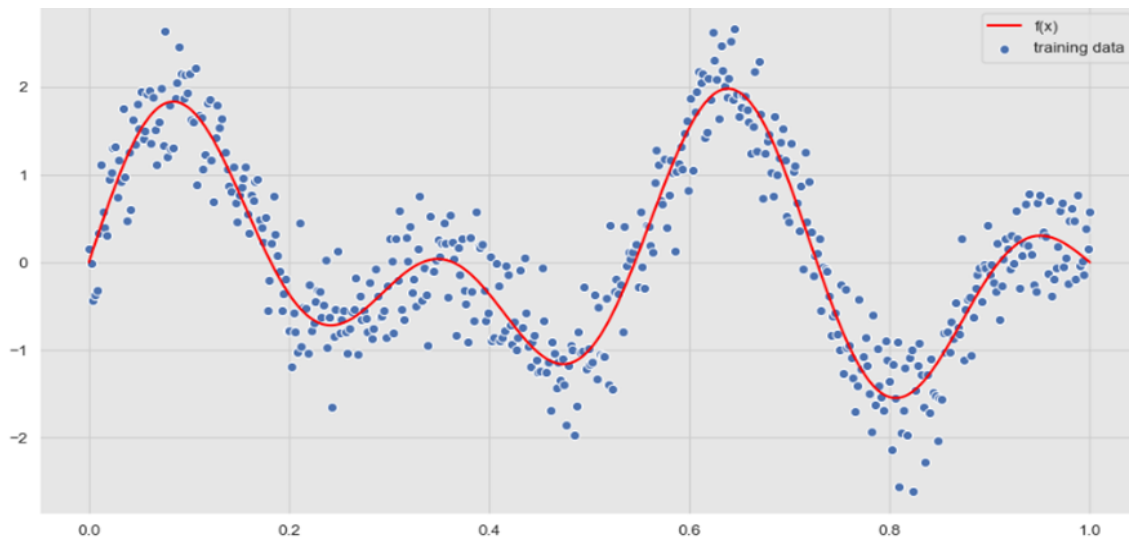


FIGURE 2.7 – processus de l'estimation.[28]

-Les techniques les plus appropriées à l'estimation sont :

- Analyse statistique classique : régression linéaire simple, corrélation, régression multiple, intervalle de confiance, estimation de points.
- Réseaux de neurones. [18]

2.5.3 La prédiction :

La prédiction est comparable à la classification et à l'estimation, à la différence que les résultats de la prédiction concernent des événements futurs. [13]

-Les techniques les plus appropriées à la prédiction sont :

- Celles de l'estimation ou de la segmentation.[18]

2.5.4 L'association :

L'association vise à identifier les variables qui sont souvent associées les unes aux autres. Cette tâche ressemble à une classification globale, où toutes les valeurs possibles des variables d'intérêt sont croisées. En analysant ces croisements, on peut déterminer le poids statistique de chaque combinaison de variables, ce qui permet de déterminer quelles variables sont souvent associées. [18]

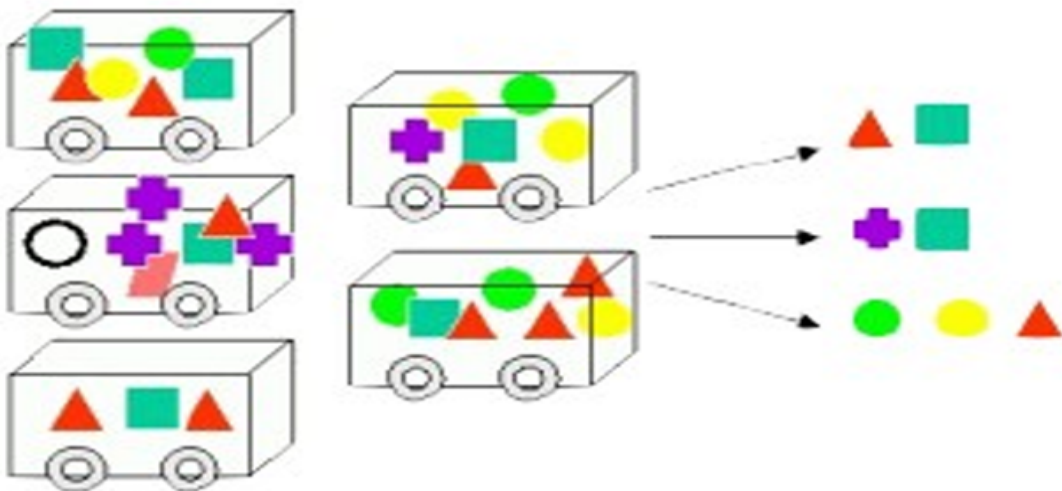


FIGURE 2.8 – processus de l'association.[24]

-Les techniques les plus appropriées à l'association sont :

- l'algorithme apriori.
- Algorithmes de l'arbre FP. [29]

2.5.5 Le clustering :

Le clustering est l'une des premières techniques utilisées en exploration de données. Le processus de clustering implique l'analyse d'un ou plusieurs attributs pour identifier des données qui sont similaires entre elles afin de comprendre les différences et les similitudes entre l'ensemble de données. Le processus de clustering est parfois appelé segmentation car il segmente les données en catégories afin d'identifier un groupe de résultats corrélés. [30]

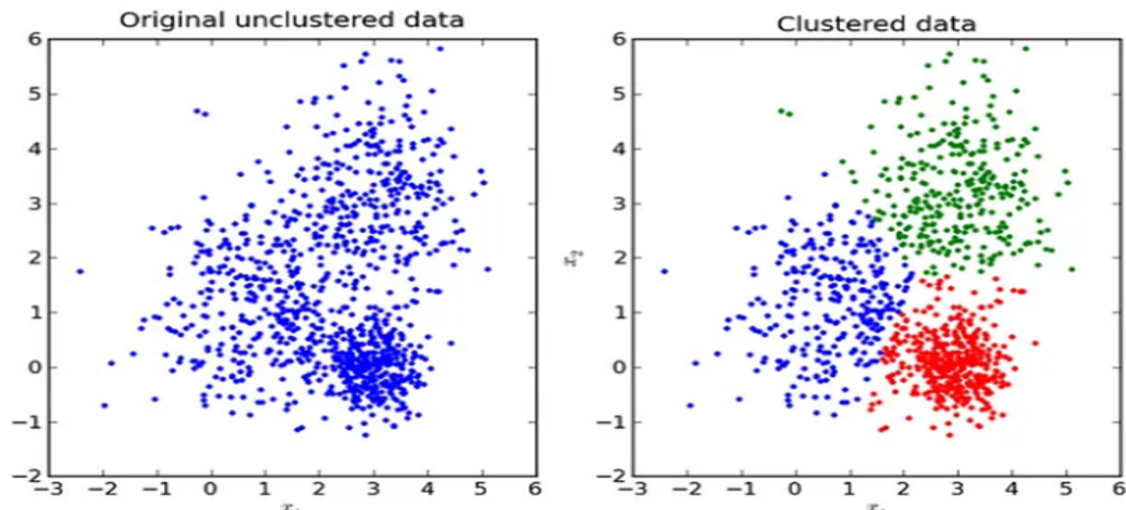


FIGURE 2.9 – processus de clustering. [31]

- Les techniques les plus appropriées pour le clustering sont :

- K-means
- Classification hiérarchique (groupes disjoints)
- Classification pyramidale (groupes non disjoints) [27]

2.5.6 La description :

Parfois les chercheurs ou les analystes sont simplement à la recherche de moyens pour décrire des phénomènes ou des tendances gisant dans les données.

Une description de bonne qualité peut souvent être accomplie par l'analyse exploratoire des données, une méthode graphique d'exploration des données cherchées pour des phénomènes ou des tendances. [13]

-Les techniques les plus appropriées à la prédiction sont :

- Méthodes graphiques pour la clarté : analyse exploratoire des données. [13]

2.6 Les travaux connexes :

De nombreux travaux ont été réalisés par des chercheurs sur la prédiction des incendies de forêt :

-Le classificateur SVM a été utilisé dans une étude de Cortez et all. Pour prédire la zone brûlée à l'aide de données météorologiques provenant de la région nord-est du Portugal. L'ensemble des données comprenait la température, la pluie, l'humidité relative et la vitesse du vent. Les auteurs ont constaté que la solution basée sur le SVM était efficace pour détecter les petits incendies, mais qu'elle présentait des limites pour les grands incendies. [32]

-Dans leur publication de 2020, Abid et Izeboudjen proposent un modèle prédictif des incendies de forêt en Algérie. Ils utilisent un arbre de décision et se concentrent sur les données collectées dans deux régions du nord de l'Algérie, Sidi-Bel-Abbès et Bejaia. Le modèle utilise des données météorologiques comprenant la température, l'humidité relative et la vitesse du vent, qui sont des facteurs influençant les incendies. Les résultats de l'étude montrent que l'arbre de décision est adapté à cet objectif, avec des performances significatives. De plus, il peut être facilement traduit en un format basé sur des règles, ce qui facilite sa mise en œuvre matérielle et nécessite moins de ressources en tant que noyau IP. [33]

-Dhumal Rashmi Amol [2018, Inde] a développé un système de prédiction de la propagation du feu utilisant un algorithme génétique. Le système est capable de déterminer les plages de valeurs des paramètres d'entrée qui contribuent à l'initiation du feu, ce qui permet de prédire avec précision la catégorie de propagation de la zone affectée. L'algorithme génétique sémantique géométrique permet de générer une population optimale, ce qui facilite la prédiction rapide et précise de la propagation du feu pour des mesures de lutte contre l'incendie appropriées. Le système peut être utilisé avec des données en temps réel pour une meilleure précision et peut être comparé à d'autres techniques de prédiction en tenant compte d'autres facteurs qui influencent la propagation du feu. [34]

-AdhikariDurga et Venkata Madhav et all [mars 2023, écosystèmes méditerranéens] a utilisé la régression logistique pour prévoir les incendies de forêt en se basant sur les variables de température, d'humidité et d'oxygène. Cependant, étant donné que ces valeurs varient dans le temps en raison de l'environnement dynamique et des facteurs tels que l'humidité et la température, la prédiction précise des incendies de forêt n'est pas possible. Néanmoins, grâce à la régression logistique, il est possible d'estimer la probabilité d'occurrence d'un incendie, ce qui peut aider les gestionnaires forestiers à élaborer des plans de lutte plus efficaces et à réorganiser les systèmes de gestion des forêts existants. Cette approche vise à renforcer les réglementations existantes et à promouvoir une gestion durable des ressources forestières. [35]

-Ku Ruhana et Khor Jia Yun [2020, Australie] ont réalisé une étude sur les relations entre la taille des incendies de forêt et les attributs météorologiques tels que la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et les précipitations en

utilisant la technique de la fenêtre glissante. Leurs résultats mettent en évidence l'influence de différentes combinaisons de ces conditions météorologiques sur la taille des incendies de forêt. Les règles dérivées de ces schémas peuvent être utilisées pour estimer la taille de la zone de combustion d'un incendie de forêt. En comprenant le comportement potentiel d'un incendie, les décideurs peuvent planifier de manière plus efficace la gestion de l'incendie. Une prédiction précise des incendies de forêt pourrait améliorer l'efficacité des efforts de lutte, contribuant ainsi à la préservation des vies et des ressources naturelles. [36]

-Michael Leuenberger et Mikhaïl Kanevskis et all [2013, suisses] ont présenté des algorithmes de forêt aléatoire pour l'analyse et la modélisation des incendies de forêt dans un espace de caractéristiques à haute dimension. Ces algorithmes utilisent un ensemble d'arbres de classification et de régression. Grâce à une sélection pseudo-aléatoire de variables à chaque nœud de division, cette méthode permet de faire pousser plusieurs arbres de décision différents qui ne nécessitent pas de modifications. En utilisant un système de comité, ces arbres renvoient une valeur plus précise que celle d'un seul arbre de décision. De plus, cet algorithme intègre directement la mesure de l'importance des variables, ce qui permet d'identifier les facteurs influençant les incendies de forêt. [37]

-Haoran Zhu, Demin Gao et all [2019, la Chine] ont développé une méthode basée sur l'apprentissage automatique pour prédire les incendies de forêt en utilisant les conditions climatiques. Leur approche utilise l'algorithme perceptron pour détecter rapidement et de manière fiable les incendies potentiels. En exploitant les informations climatiques, leur méthode permet d'estimer efficacement les niveaux de risque d'incendie. Cependant, en raison du manque de données disponibles, leur système présente actuellement des limites. Des tests supplémentaires sont nécessaires avant de pouvoir l'utiliser dans des applications pratiques. Leur objectif est d'améliorer la fiabilité et la performance de leur méthode pour une utilisation plus généralisée. [38]

-Plucinski, Mccaw, Gould et Wotton [2014] ont proposé un modèle basé sur la régression binomiale négative après avoir recueilli des données sur une période de trois ans. Leur objectif était de développer des outils opérationnels permettant de planifier quotidiennement la gestion des incendies. Bien qu'il existe plusieurs approches pour prédire l'occurrence des incendies de forêt, celles-ci présentent certains inconvénients, notamment l'utilisation de données incomplètes pouvant entraîner des prédictions imprécises. De plus, certaines de ces méthodes sont complexes et difficiles à comprendre et à utiliser. [39]

2.7 Conclusion :

Ce chapitre a présenté le domaine du data mining ainsi que certaines de ses techniques. Nous avons commencé par définir le data mining et avons discuté de différentes architectures proposées dans ce domaine. Ensuite, nous avons Fourni une description détaillée de certaines techniques de data mining. Finalement, nous avons examiné quelques travaux récents portant sur la prévision des incendies de forêt en utilisant les techniques de data mining.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation détaillée de notre approche proposée pour la prédiction des incendies de forêt, qui est basée sur les techniques de data mining.

Chapitre 3

L'approche proposée

3.1 Introduction :

Les incendies des forêts constituent une menace pour l'environnement et la sécurité publique dans de nombreuses régions du monde, y compris à Khenchela. Par conséquent, la prédiction et la prévention de ces incendies revêtent une importance cruciale pour les autorités locales et les organisations de lutte contre les incendies.

Dans cette étude, notre objectif principal est d'utiliser des techniques de data mining pour prédire les incendies de forêt en utilisant la classification à base de règles. Nous nous concentrons spécifiquement sur l'application des algorithmes Apriori et RSA pour extraire des règles de classification à partir de nos données.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes étapes de notre projet de prédiction des incendies de forêt à l'aide de techniques de data mining. Nous commencerons par décrire la collection des données que nous avons utilisée. Ensuite, nous aborderons le prétraitement des données, Par la suite, nous détaillerons les techniques de data mining que nous avons utilisées pour implémenter notre système de prédiction des incendies de forêt. Nous aborderons également l'évaluation du modèle, où nous présenterons les mesures utilisées pour évaluer la performance de notre système de prédiction. Ensuite, nous décrirons l'environnement de développement que nous avons utilisé, y compris les différentes bibliothèques et outils qui ont facilité la mise en œuvre de notre système de prédiction. Enfin, nous conclurons ce chapitre en résumant les principales contributions de notre étude.

3.2 Lieu d'étude :

La wilaya de Khenchela est l'une des plus grandes wilayas en termes de couverture forestière, s'étendant sur une superficie forestière d'environ 146 303 hectares, ce qui représente 15 % de sa superficie totale.

Entre 2010 et 2022, la wilaya de Khenchela a connu une augmentation alarmante des incendies forestiers. Ces feux ont eu des conséquences dévastatrices, détruisant de vastes étendues de forêts riches en biodiversité et fragilisant les écosystèmes locaux. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du nombre d'incendies forestiers dans la wilaya de Khenchela de 2010 à 2022. [40]

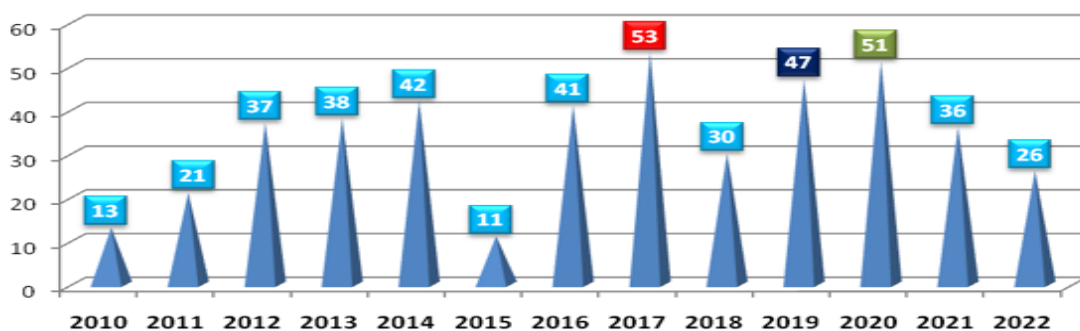


FIGURE 3.1 – Les statistiques des incendies de forêt de la wilaya de khenchela de 2010 à 2022 [40]

3.3 Les étapes de l'approche proposée :

Dans notre approche nous suivrons les étapes indiquées dans le schéma suivant :

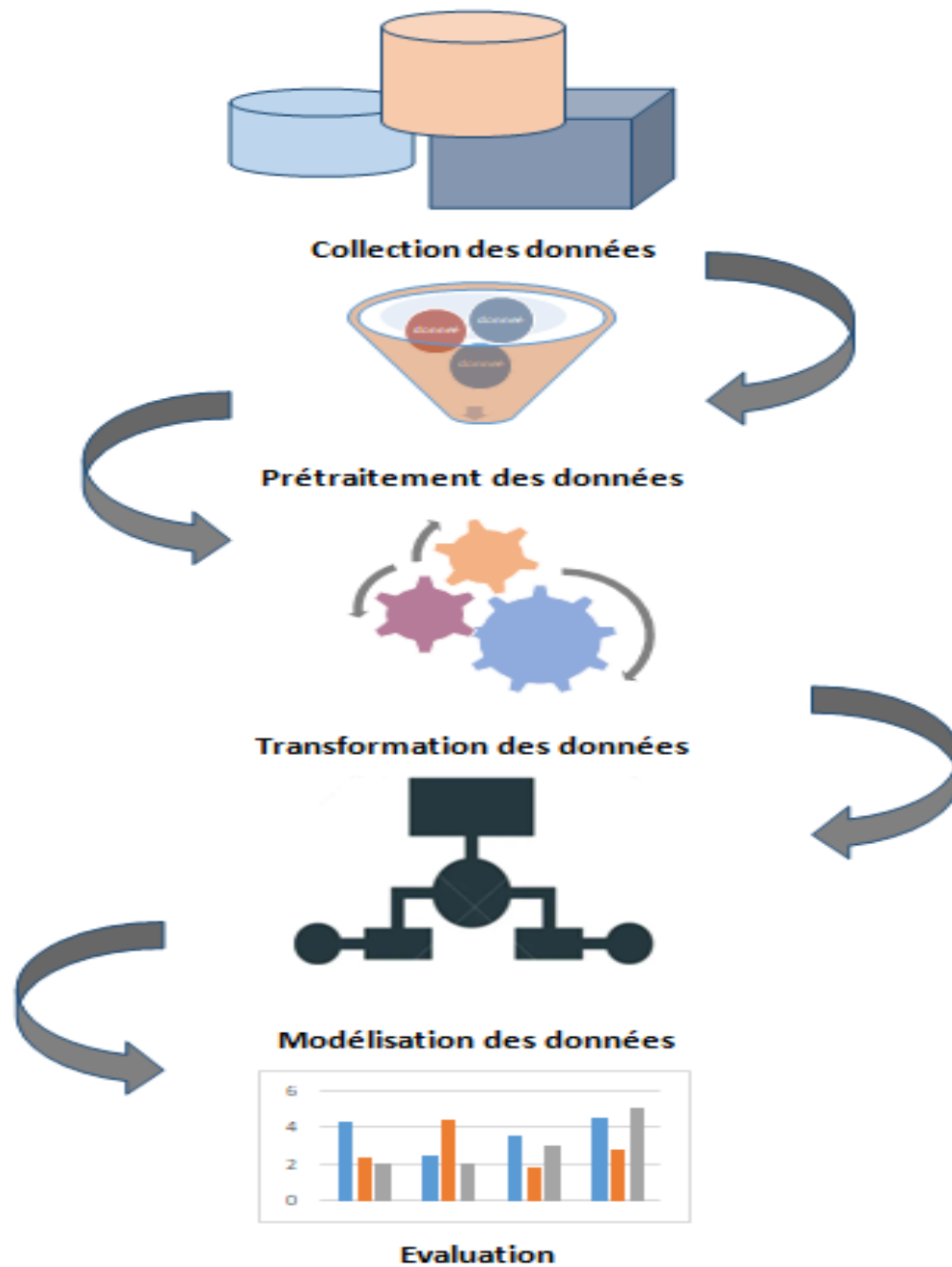


FIGURE 3.2 – Les étapes de l'approche proposée.

3.3.1 La collection des données :

Dans cette étude Nous avons utilisé un ensemble de données fourni par la Direction Générale des Forêts de Khenchela et la station météorologique locale. Cet ensemble de données contient des relevés météorologiques détaillés de la station, ainsi que des étiquettes de classe indiquant si les conditions météorologiques ont provoqué des incendies de forêt.

Les données météorologiques fournissent des informations fondamentales pour comprendre les conditions environnementales favorables aux incendies de forêt. Cela englobe des mesures telles que : la température, l'humidité, la vitesse du vent, les précipitations et la probabilité de grêle. En ce qui concerne la prévention et la lutte contre les incendies de forêt, ces données météorologiques sont essentielles pour évaluer le risque d'incendie et prendre des décisions en matière de gestion des incendies. Comme indiqué dans le tableau :

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	13.15	34.60	3.66	69.12	161.5	85.16	2	4
Février	15.95	41.19	4.07	8.45	151.4	85.8	2	3
Mars	17.76	57.29	5.20	97.0	193.1	84.01	2	1
Avril	23.45	24.91	3.57	115.89	258.5	80.5	0	0
Mai	28.63	39.41	3.9	168.32	244.6	78.93	0	0
Juin	33.15	21.45	3.34	249.37	247.3	81.49	0	0
Juillet	25.70	25.44	2.79	171.5	311.6	57.66	0	0
Août	33.19	30.60	2.91	209.21	306.0	65.91	0	0
Septembre	28.79	40.39	3.32	157.84	216.95	77.87	0	0
Octobre	23.71	23.92	3.34	128.37	204.3	74.71	0	0
Novembre	17.56	35.18	3.54	97.15	161.25	58.69	1	4
Décembre	11.29	50.74	3.27	96.80	123.8	92.25	2	3

TABLE 3.1 – les données météorologiques à khenchela 2022

Ci-dessous se trouve un tableau détaillant les dates et les lieux de déclenchement des incendies de forêt dans la wilaya de Khenchela :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE																		
MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL																		
DIRECTION GENERALE DES FORETS																		
CONSERVATION DES FORETS DE LA WILAYA DE KHENCHELA																		
BILAN CUMUL DES INCENDIES																		
DU 01/06/2022 AU 31/10/2022																		
N°	DAIRA	COMMUNE	NOM DE FORET OU LIEU DIT	COORDONNEES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	DOMANIALE				
				CARTE		G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS	BROUSS	ALFA	AUTRES
LONGITUDE	LATITUDE	DATE	HEURE	DATE	HEURE								DATE					
1401622	OULED BECHACHE	OULED BECHACHE	AH FOURIS	007 52972	35 114362		70622	1344	70622	1350	70622	1600	ALFA					1,000
2402022	CHECHAR	KHIRANE	BOLILACED BARBAR	007 02788	35 14513		70622	1445	70622	1455	70622	1630	ALFA					0,070
3401422	EL HAMMA	TAMZA	FORET DOMANIALE OULED TAGOUB"TIZI TALAOUBA LAHMER"	006 31989	35 335140		140622	1630	140622	1650	140622	1310	CY			0,050		
4400122	KHENCHELA	KHENCHELA	FORET "DHABOUR BENI MAATA"	007 066141	35 463801		170622	1220	170622	1230	170622	1400	PA	0,005				
5401122	CHECHAR	CHECHAR	IGHE AKKAR"DJENA"	006 38370	35 01935		180622	320	180622	340	180622	1050	ALFA					0,500
6400522	EL HAMMA	EL HAMMA	FORET DOMANIALE OULED BOUDERRAH"DOUM CHEIADI"	007 07203	35 25170		200622	1215	200622	1230	200622	1315	CY		0,050			
7401422	EL HAMMA	TAMZA	FORET DOMANIALE OULED TAGOUB"RAGOU"	006 346129	35 316720		200622	2345	210622	0000	210622	0630	PA	0,005				
8400322	KAIS	KAIS	FORET DOMANIALE BEHILA"BOUGHERDEIME"	006 348132	35 455183		210622	1220	210622	1230	210622	1800	PA + CY+G					
3400122	KHENCHELA	KHENCHELA	FORET RAS SERDOUN"FRINGUEL "	007 07273	35 25514		230622	1058	230622	1105	230622	1145	PA					
10400822	BOUHAMA	BOUHAMA	FORET DOMANIALE BENI OUDJAMA"LAKHEZOUN"	006 40939	35 17635		260622	0852	260622	0900	260622	1000	PA + CY					

FIGURE 3.3 – les données des incendies de forêt de la wilaya de khenchela 2022

La combinaison de deux ensembles de données permet de créer un jeu de données pour développer un modèle prédictif d'incendie. Ce modèle identifie les périodes à haut risque et prédit les départs d'incendie, permettant ainsi une intervention rapide des services d'incendie pour éteindre les feux.

Nous avons collecté toutes ces informations qui couvrent la période allant 2010 à 2022 dans un tableau. Ces données peuvent inclure les variables suivantes : température, précipitation, vitesse de vent, évaporation, insolation, humidité, neige, grêle et l'incendie.

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle	Incendie
Janvier	13.15	34.60	3.66	69.12	161.5	85.16	2	4	0
Février	15.95	41.19	4.07	8.45	151.4	85.8	2	3	0
Mars	17.76	57.29	5.20	97.0	193.1	84.01	2	1	0
Avril	23.45	24.91	3.57	115.89	258.5	80.5	0	0	0
Mai	28.63	39.41	3.9	168.32	244.6	78.93	0	0	0
Juin	33.15	21.45	3.34	249.37	247.3	81.49	0	0	1
Juillet	25.70	25.44	2.79	171.5	311.6	57.66	0	0	1
Août	33.19	30.60	2.91	209.21	306.0	65.91	0	0	1
Septembre	28.79	40.39	3.32	157.84	216.95	77.87	0	0	1
Octobre	23.71	23.92	3.34	128.37	204.3	74.71	0	0	1
Novembre	17.56	35.18	3.54	97.15	161.25	58.69	1	4	0
Décembre	11.29	50.74	3.27	96.80	123.8	92.25	2	3	0

TABLE 3.2 – Le résultat de la collection des données 2022

3.3.2 Le prétraitement des données :

Dans le prétraitement de notre ensemble de données, nous avons utilisé une méthode de discrétisation pour catégoriser les attributs. Cette méthode permet de diviser les valeurs numériques de chaque attribut en catégories distinctes. Cela permet de simplifier les données et de traiter les attributs de manière plus compréhensible et interprétable pour les modèles d'analyse ultérieure. Cette étape de prétraitement aide à rendre les données prêtes à être utilisées dans le processus de développement de modèles de prévision des incendies.

L'ensemble de données météorologiques typique comprend plusieurs attributs tels que : la température, la précipitation, la vitesse du vent, l'évaporation, l'insolation, l'humidité, la neige et la grêle. Chaque attribut est généralement divisé en trois valeurs : « Low », « average » et « high ».

-pour diviser les colonnes en trois catégories "Low", "average" et "high", Nous allons définir les plages suivantes :

Les attributs :	Les plages :	Les catégories :
Température	Les valeurs inférieures à 15	Low
	Les valeurs comprises entre 15 et 30	Average
	Les valeurs supérieures à 30	Haight
Précipitation	Les valeurs inférieures à 30	Low
	Les valeurs comprises entre 30 et 80	Average
	Les valeurs supérieures à 80	Haight
Vent	Les valeurs inférieures à 3	Low
	Les valeurs comprises entre 3 et 4.5	Average
	Les valeurs supérieures à 4.5	Haight
Evaporation	Les valeurs inférieures à 100	Low
	Les valeurs comprises entre 100 et 200	Average
	Les valeurs supérieures à 200	Haight
Humidité	Les valeurs inférieures à 60	Low
	Les valeurs comprises entre 60 et 85	Average
	Les valeurs supérieures à 85	Haight
Neige	Les valeurs inférieures à 2	Low
	Les valeurs comprises entre 2 et 4	Average
	Les valeurs supérieures à 4	Haight
Grêle	Les valeurs inférieures à 3	Low
	Les valeurs comprises entre 3 et 8	Average
	Les valeurs supérieures à 8	Haight

TABLE 3.3 – La catégorisation des données.

La colonne des mois sera divisée de la manière suivante :

Mois	les catégories
décembre+janvier+février	Winter
mars+avril+mai	Spring
juin+juillet+aout	Summer
September +octobre+novembre	Autumn

TABLE 3.4 – La catégorisation des données.

3.3.3 La transformation des données :

Alors, nous allons réaliser l'encodage de notre jeu de données en convertissant les catégories présentes en attributs exploitables. Les variables résultantes seront :

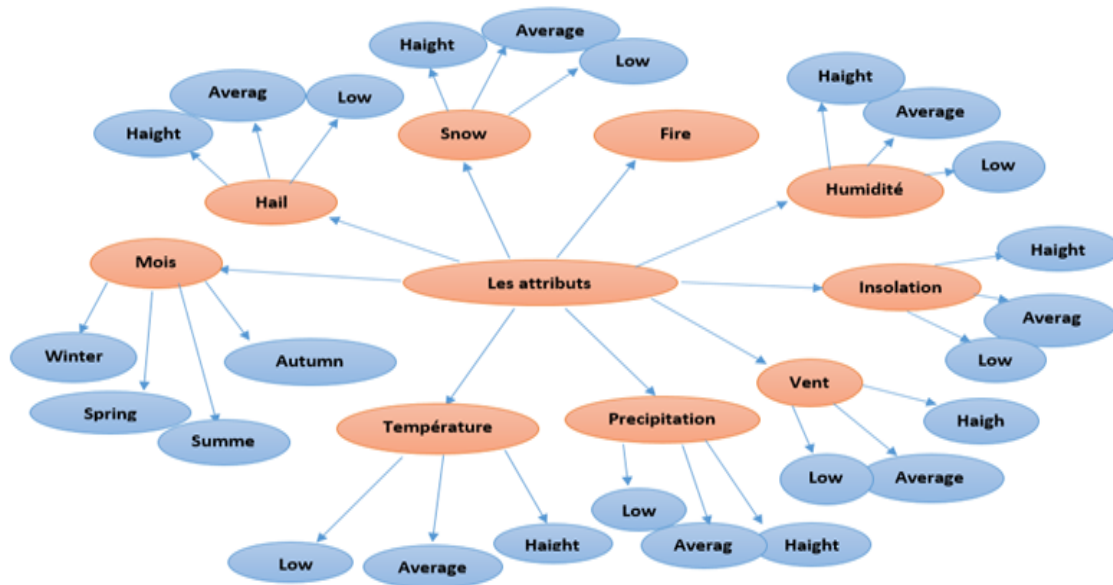


FIGURE 3.4 – Les attributs de notre dataset

Ensuite, nous allons attribuer des valeurs à notre ensemble de données en utilisant l'encodage binaire. Nous remplirons les attributs en utilisant des 0 et des 1, en les divisant de la manière suivante :

- Pour les quatre premiers attributs de mois, chaque attribut aura une seule valeur de 1 et les autres seront des 0.
- Les autres attributs sont divisés en groupes de trois, où chaque groupe aura une seule valeur de 1 et les autres seront des 0.
- La variable cible est le dernier attribut et prend la valeur 1 si un incendie est présent et 0 si aucun incendie n'est présent.

Cette stratégie de remplissage de données nous permet de structurer les informations contenues dans le jeu de données de manière à faciliter leur traitement ultérieur.

Après le prétraitement, nous avons obtenu le jeu de données suivant :

Le support mesure la fréquence d'apparition d'un ensemble d'éléments dans les données, tandis que la confiance mesure la probabilité conditionnelle d'une règle d'association.

Lorsque nous voulons transformer des règles d'association en règles de classification, nous devons tenir compte de la variable cible que nous cherchons à prédire. Pour cela, nous devons adapter l'algorithme Apriori en spécifiant que la variable cible doit figurer dans la partie conséquente des règles, tandis que les autres éléments doivent figurer dans la partie antécédente. [41]

Le schéma suivant représente le fonctionnement de l'algorithme Apriori :

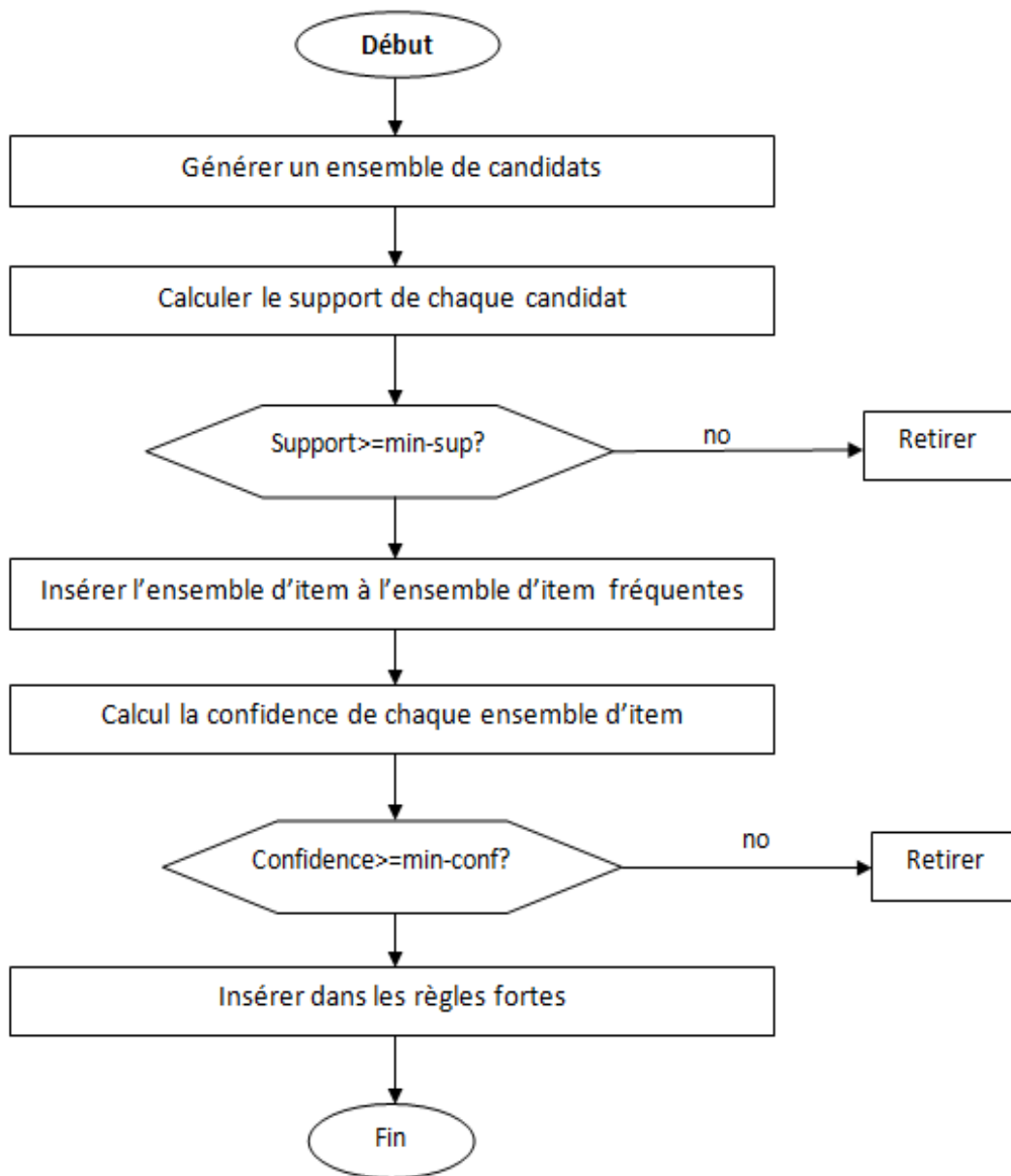


FIGURE 3.6 – Fonctionnement de l'algorithme apriori. [41]

Pour la génération d'une règle de classification, le critère du seuil minimal de confiance et support n'est pas suffisant. Nous devons assurer la meilleure sélection des attributs qui affectent la variable cible. Par conséquent, nous avons proposé une méthode qui combine cet algorithme avec un autre algorithme métaheuristique "algorithme de recherche des reptiles".

L'algorithme Reptile Search (RSA) :

Algorithme de recherche des reptiles est un technique métaheuristique inspiré des comportements de chasse des crocodiles dans la nature . Le fonctionnement de l'RSA dépend de deux phases : d'encerclement (exploration) et la phase de chasse (exploitation). Et le passage d'une phase à l'autre s'effectue en divisant le nombre d'itérations en quatre parties.[42]

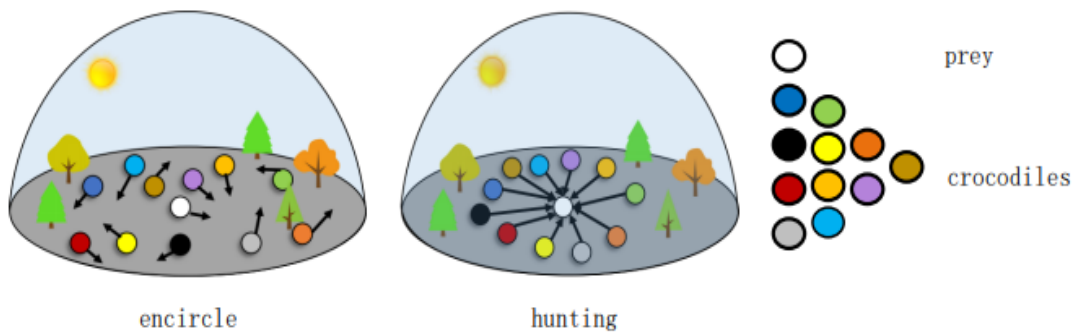


FIGURE 3.7 – Le principe de la chasse des crocodiles.[42]

La méthode commence avec un groupe initial de crocodiles qui ont des solutions de conception équivalentes à leurs positions. Les valeurs des paramètres d'optimisation sont attribuées. L'essaim de crocodiles se lance dans une activité de chasse, qui vise à la recherche d'une solution optimale. Les positions des crocodiles sont mises à jour à l'aide d'opérateurs qui simulent leur encerclement et leur chasse aux proies. [43]

L'opérateur d'encerclement se déroule en deux étapes : d'abord, une marche en hauteur est effectuée au premier quart des itérations de recherche, puis une marche sur le ventre est effectuée au deuxième quart des itérations de recherche. [43]

D'autre part, l'opérateur de chasse comporte une coordination de chasse qui est effectuée au troisième quart des itérations de recherche, et une coopération de chasse a lieu lors du dernier quart de la recherche.

Les positions des crocodiles sont itérativement mises à jour en suivant les conditions ci-dessus jusqu'à ce qu'une norme de performance soit satisfaite. Cette mise à jour est répétée jusqu'à ce qu'une condition de terminaison soit remplie. [43]

L'ensemble initial des crocodiles peut être créé de manière aléatoire, comme décrit par l'équation suivante :

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,j} & x_{1,n-1} & x_{1,n} \\ x_{2,1} & \dots & x_{2,j} & \dots & x_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1,1} & \dots & x_{N-1,j} & \dots & x_{N-1,n} \\ x_{N,1} & \dots & x_{N,j} & x_{N,n-1} & x_{N,n} \end{bmatrix}$$

Avec :

N : la taille de l'essaim de crocodiles (les particules).

n : Nombre d'éléments d'une solution de conception.

xij : jème élément de la ième solution, qui peut être obtenu à l'aide de l'équation.

Phase d'encerclement (exploration) :

Le processus d'encerclement se déroule en deux étapes : la marche haute et la marche ventrale. Le premier opérateur est utilisé pour mettre à jour la position des crocodiles lorsque l'itération courante se situe dans le premier quart de la course d'optimisation. Le deuxième opérateur est activé pour mettre à jour la position des crocodiles lors du deuxième quart de la course. La formule de mise à jour peut être exprimée par l'équation suivante [43] :

$$x_{(ij)}(t+1) = \begin{cases} Best_j(t) - \eta_{(ij)}(t) \times \beta - R_{(ij)}(t) \times rand, & t \leq \frac{T}{4} \\ Best_j(t) \times x_{r_1,j} \times ES(t) \times rand, & t \leq 2\frac{T}{4} \text{ and } t > \frac{T}{4} \end{cases}$$

Avec :

X(i,j) : La position du ième individu dans la jème dimension après la mise à jour.

Bestj(t) : La position optimale jusqu'à présent dans la jème dimension.

$\eta(i,j)$: L'opérateur de chasse du ième individu dans la jème dimension.

β : Un paramètre sensible.

R(i,j) : Est utilisé pour réduire la zone de recherche.

t : Le nombre actuel d'itérations.

T : Le nombre total d'itérations.

ES : Contrôle la direction de l'évolution et prend aléatoirement la valeur décroissante entre 2 et -2.

La figure suivante représente la phase d'encerclement :

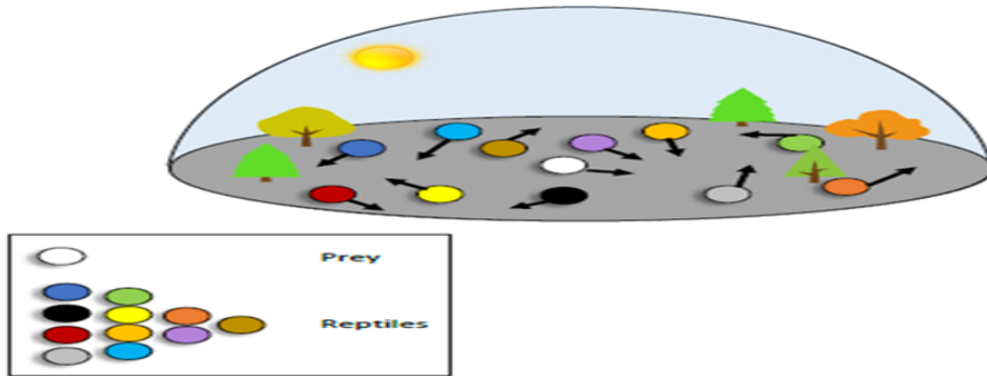


FIGURE 3.8 – la première étape (encerclement). [42]

Phase de chasse (exploitation) :

On peut distinguer deux étapes distinctes dans l'opération de chasse. Tout d'abord, la coordination de la chasse est mise en œuvre pour mettre à jour les positions des crocodiles au cours du troisième quart de la course d'optimisation. Ensuite, la coopération de chasse est utilisée pour mettre à jour les positions des crocodiles dans le quatrième quart de la course. Les équations de mise à jour correspondantes peuvent être exprimées comme suit [43] :

$$x_{(ij)}(t+1) = \begin{cases} \text{Best}_j(t) \times P_{(ij)}(t) \times \text{rand} & t \leq 3\frac{T}{4} \text{ and } t > 2\frac{T}{4} \\ \text{Best}_j(t) - \eta_{(ij)}(t) \times \epsilon - R_{(ij)}(t) \times \text{rand} & t \leq T \text{ and } t > 3\frac{T}{4} \end{cases}$$

Avec :

$P(i,j)$: la différence en pourcentage entre l'individu optimal et l'individu actuel dans la jème dimension.

rand : Nombre aléatoire ($\text{rand} \in [0, 1]$).

La figure suivante représente la phase d'exploitation :

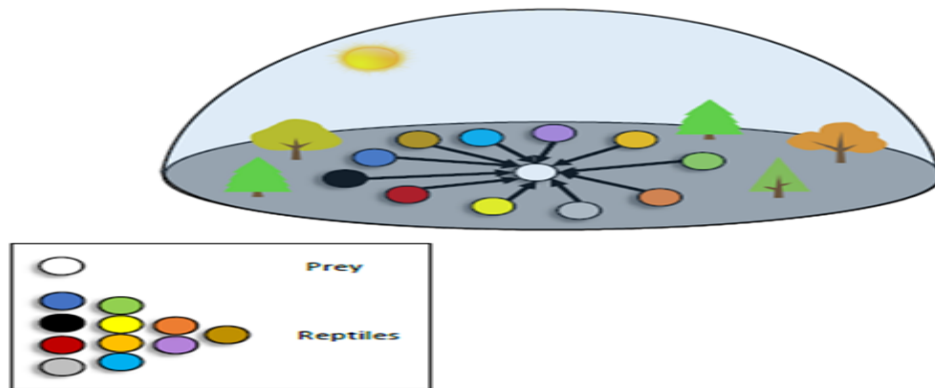


FIGURE 3.9 – la deuxième étape (exploitation). [42]

L'algorithme RSA est représenté dans le schéma ci-dessous, qui décrit son fonctionnement. :

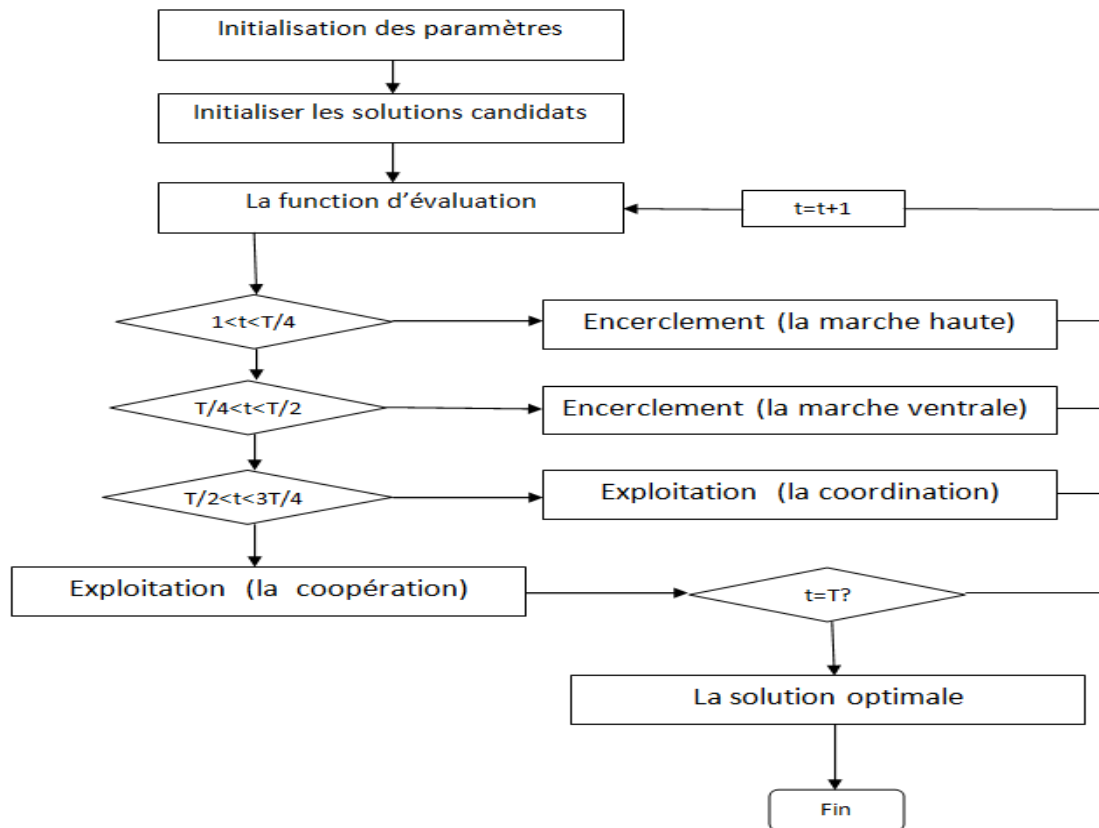


FIGURE 3.10 – Fonctionnement de RSA [43]

Optimisation du candidat de l'algorithme Apriori avec l'algorithme reptile search (App-Rsa) :

Dans cette approche, l'algorithme Apriori est appliqué sur les attributs sélectionnés à partir de l'algorithme RSA. Cela signifie que l'algorithme RSA est utilisé pour effectuer une sélection d'attributs sur une Dataset, et ensuite, les attributs choisis sont utilisés comme entrée pour l'algorithme Apriori.

L'objectif principal de l'utilisation de l'algorithme RSA est de réaliser une sélection optimale des attributs qui ont un impact sur la présence ou l'absence d'incendie, et de générer les règles de classification les plus performantes.

L'algorithme apriori permet d'extraire des associations fréquentes entre les attributs, ce qui peut aider à identifier les combinaisons d'attributs les plus pertinentes pour la prédiction des incendies de forêt.

En combinant ces deux algorithmes, on cherche à obtenir une meilleure compréhension des facteurs qui influencent les incendies et à développer des règles de classification efficaces pour la Prédiction des incendies de forêt.

Le schéma ci-dessous présente la manière dont les algorithmes sont combinés :

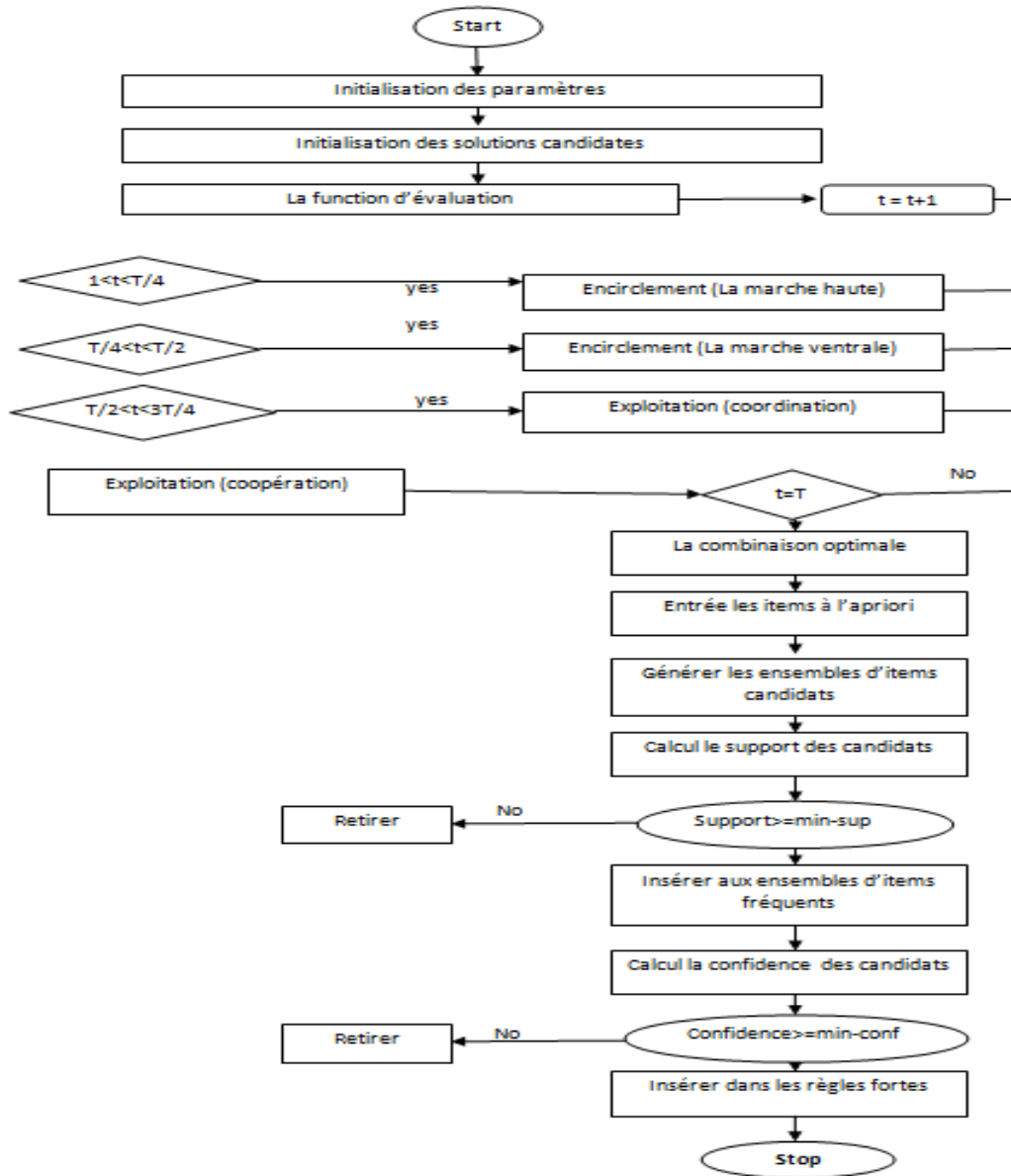


FIGURE 3.11 – Optimisation du candidat de l’algorithme Apriori avec l’algorithme reptile search (App-Rsa)

- Les étapes de notre approche sont décrites comme suit :

-Etape 1 : initialisation des paramètre N, dim, T, α, β Avec :

N : les solutions candidates.

T : le nombre d’itération .

Dim : la dimension ($dim= 29$).

α, β : des constants.

-Etape 2 : Initialisation de population($X(1), X(2), \dots, X(N)$).

-Etape 3 :quand $t < T$ répéter les étapes suivant :

-Calculer la fonction de fitness pour les solutions candidat.

- Trouver la meilleure solution trouvée jusqu'à présent.
- Mettre à jour l'ES (Stratégie d'évaluation) en utilise les équations donné.

- pour chaque solution faire :
- sélectionner la stratégie de déplacement en fonction de la valeur de t.
- mettre à jour la position de la solution selon la stratégie de déplacement choisi.

Etape 4 : obtenir la combinaison optimale.

Etape 5 : ces attributs deviennent des candidats de l'algorithme apriori.

Etape 6 : extraire des ensembles des règles via ces candidats.

Etape7 : calculer le support et la confiance de chaque règle.

Etape 8 : Garder les règles qui ont : support \geq min-sup et confiance \geq min-conf et retire le reste.

Etape9 : insérer ces règles dans les règles fortes.

3.4 Résultats expérimentaux :

Nous avons choisi les critères suivants pour comparer les performances de nos règles de classification :

- La confiance.
- Le coverage.
- Le fitness.

3.4.1 Réglage de paramètres :

Le choix des paramètres joue un rôle essentiel dans l'efficacité et la performance des algorithmes. Il n'existe pas de valeur standard pour ces paramètres, car celles-ci dépendent des études empiriques et de leurs résultats.

Dans cette approche on s'intéresse au nombre de particule et le nombre d'itérations.

Nous avons utilisé deux cas différents. Dans le premier cas, nous avons fixé le nombre d'itérations et dans le deuxième cas, nous avons fixé le nombre de particules.

Nous présentons ci-dessous les différents paramètres appliqués aux jeux de données dans le premier cas :

- Critère d'arrêt (nombre d'itérations) : 20.
- Nombre de particules : 20, 40, 60, 80, 100.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

Nombre de particules =20 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Spring', 'Wind Average', 'Snow Low', 'Hail low']than no fire	1.0	0.2	-0.33	0.49
if['Precip Low', 'Wind average', 'Evap average']than fire	0.58	0.13	-0.5	0.23
if['Winter', 'Precip low', 'Wind low', 'Snow low', 'Hail low']than no fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if['Winter', 'Temp low', 'Evap low']than no fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if['Winter', 'Temp low', 'Precip average', 'evap low']than no fire	1.0	0.24	0.33	0.5
if ['Wind _L ow', 'Humlow', 'Snowlow', 'Hailow']thanFire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['evap Haight', 'Snow low', 'Hail low']than fire	0.97	0.54	-0.5	0.54
if['Summer', 'Precip Low', 'Snow low']than fire	0.96	0.42	-0.5	0.51
if['Spring', 'Snow low', 'Hail low']than no fire	1.0	0.27	-0.5	0.48
if['Temp average', 'Precip low', 'Evap low', 'Hum low', 'Snow average']than no fire	1.0	0.01	-0.25	0.45

Nombre de particules =40 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['wind low', 'evap haight', 'snow low']than fire	1.0	0.27	-0.5	0.48
if['precip low', 'hum low', 'snow low']than fire	1.0	0.25	-0.5	0.48
if['winter', 'precip average', 'evap low', 'hail haight']than no fire	1.0	0.17	-0.33	0.48
if['temp _{low} ', 'precipaverage', 'evaplow']than no fire	1.0	0.27	-0.5	0.48
if['wind average', 'snow low']than fire	0.53	0.56	-1.0	0.23
if['winter', 'temp low', 'precip average', 'evap low']than no fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if['winter', 'temp low', 'precip average', 'evap low']than no fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if['wind low', 'hum low', 'snow low', 'Hail low']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['precip Low', 'snow low', 'hail low']than fire	0.68	0.58	-0.5	0.41
if['temp haight', 'wind low', 'hum low']than fire	1.0	0.19	-0.5	0.46

Nombre de particules =60 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Winter', 'Temp low', 'insol low', 'hum haight']than no fire	1.0	0.12	-0.33	0.47
if['Summer', 'snow low', 'hail low']than Fire	0.97	0.65	-0.5	0.58
if ['Winter', 'precip low', 'wind low', 'snow low', 'hail low']than no fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if['wind low', 'hum low', 'snow low', 'hail low']than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['winter', 'precip Low', 'wind low', 'snow low', 'hail low']than no fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if['insol haight', 'snow low', 'hail low']than Fire	0.92	0.42	-0.5	0.49
if['wind low', 'Snow _L ow', 'hailaverage']thanFire	1.0	0.02	-0.5	0.41
if['wind _L ow', 'humlow', 'snowlow', 'hailow']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['wind low', 'hum low', 'snow low', 'hail low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['summer', 'evap haight', 'hail low'] than Fire	0.96	0.52	-0.5	0.54

Nombre de particules=80 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Wind low','Hum low','snow low','hail low']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['winter','temp low','precip Average','insol low']than no fire	1.0	0.14	-0.33	0.48
if['temp haight','snow low','hail low']than fire	0.93	0.54	-0.5	0.53
if['wind low','Hum Low','snow low','hail low']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['precip low','Snow Low','Hail low']than fire	0.68	0.58	-0.5	0.41
if['winter','Temp low','Evap low'] THAN No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if['temp average','Precip low', 'evap average','snow average','hail average']than no fire	1.0	0.01	-0.25	0.45
if['winter','Temp low','Precip average','evap low']than no fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if['Wind low','hum low','Snow low','hail low']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['Wind low','hum low','snow low']than fire	1.0	0.31	-0.5	0.49

Nombre de particules =100 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Precip _{low} ','Wind _{low} ','Hail _{low}]than fire	0.67	0.23	-0.5	0.3
if['Temp Haight','Snow low','Hail low']than Fire	0.93	0.54	-0.5	0.53
if['Wind low','Hum low','Hail low']than fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if['Wind low','Hum low','Snow low']than fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if['Spring','Precip low', 'wind haight','evap average','Snow average','Hail average']than no fire	1.0	0.01	-0.2	0.46
if['Winter','temp low','evap low']than No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if['Winter','temp low','evap low']than no fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if['Winter','Precip low','Wind low','evap low','Snow low','hail low']than no fire	1.0	0.02	-0.2	0.47
if['wind low','insol haight','hum low','Hail low']than Fire	1.0	0.25	-0.33	0.51
if['winter','temp low','evap low']than no fire	1.0	0.33	-0.5	0.5

3.4.2 Discussion des résultats :

D'après les résultats, il est observé que l'algorithme App-Rsa obtient de meilleurs résultats avec une population de grande taille. Cela suggère que l'utilisation d'un nombre plus élevé de particules conduit à de meilleures performances dans la prédiction des incendies de forêt.

Et nous présentons ci-dessous les différents paramètres appliqués aux jeux de données dans le deuxième cas :

- Critère d'arrêt (nombre d'itérations) : 10, 20 , 30 , 40 , 50 , 60 , 70 , 80 , 90.
- Nombre de particules : 50.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =10

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Precip _{Low} ', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{Low} ']THANFire	1.0	0.25	-0.5	0.48
if['Winter', 'Wind haight', 'evap low', 'insol low', 'Hail average']than no fire	1.0	0.03	-0.25	0.46
if ['Spring', 'Temp low', 'Wind Haight', 'Evap low', 'Snow average', 'Hail low']than no fire	1.0	0.01	-0.2	0.46
if['Precip low', 'Hum low', 'Snow low', 'Hail low']than Fire	1.0	0.25	-0.33	0.51
if['Precip low', 'Hum low', 'Snow low']than Fire	1.0	0.25	-0.5	0.48
if['Precip low', 'Snow low', 'Hail low']than fire	0.68	0.58	-0.5	0.41
if['Winter', 'Temp low', 'Precip average', 'evap low']than no fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if['Winter', 'Precip low', 'Wind low', 'Evap low', 'Snow low']than no fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if['Snow low', 'Hail low']than Fire	0.54	0.98	-1.0	0.36
if['wind low', 'Hum low', 'Snow low']tha Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =20

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Winter', 'Temp low', 'Evap low']than fire	1.0	0.3	-0.5	0.5
if['Winter', 'Precip average', 'Wind average', 'Evap low']than no fire	1.0	0.17	-0.33	0.48
if['Summer', 'Snow low', 'Hail low']than fire	0.97	0.65	-0.5	0.58
if['Temp _{Haight} ', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{low} ']than fire	0.93	0.54	-0.5	0.53
if['Precip average', 'Hail low']than fire	0.38	0.38	-1.0	0.11
if['Evap Haight', 'Snow low', 'Hail low']than fire	0.97	0.54	-0.5	0.54
if['Wind low', 'Hum low', 'Snow low', 'Hail low']than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['Precip low', 'Snow low', 'Hail low']than fire	0.6	0.58	-0.5	0.41
if['Temp haight', 'Precip low', 'Wind low', 'Hum low']than Fire	1.0	0.1	-0.33	0.46
if['Precip Haight', 'Wind low', 'Evap average', 'Snow low', 'Hail low']than fire	1.0	0.02	-0.25	0.46

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =30

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if['Wind low', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{low} ', 'Hail _{low} ']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['Spring', 'Temp average', 'Snow low', 'Hail low']than no fire	1.0	0.26	-0.33	0.518
if['Wind low', 'Hum low', 'Hail low']than fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if['Wind ow', 'Hum low', 'Snow low', 'Hail low']than fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['Precip low', 'Evap haight', 'Hail low']than fire	0.95	0.35	-0.5	0.48
if['Temp haight', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{Low} ']than Fire	0.93	0.54	-0.5	0.53
if['Wind low', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{low} ']than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if['Precip low', 'Wind low', 'Hum haight', 'Snow low', 'Hail low']than Fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if ['Wind low', 'Hum low', 'Snow low', 'Hail low']than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if['Summer', 'Evap _{Haight} ', 'Snow _{low} ']than Fire	0.97	0.54	-0.5	0.54

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =40

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Spring', 'Temp Average', 'Snow Low', 'Hail Low'] than fire	1.0	0.26	-0.33	0.51
if ['Temp Low', 'Precip Low', 'Wind Low', 'Evap Low', 'Snow Low'] thans no fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if ['Spring', 'Temp Low', 'Precip Haight', 'Wind Haight', 'Evap Low', 'Insol Low', 'Hum Haight', 'Snow Haight', 'Hail Low'] than Fire	0	0.0	-0.12	-0.02
if ['Precip Haight', 'Wind Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.02	-0.5	0.41
if ['Wind Low', 'Insol Haight', 'Hum Low', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.25	-0.33	0.51
if ['Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	0.95	0.48	-0.5	0.5
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] THAN Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Winter', 'Temp Low', 'Wind Average', 'Snow Average'] THAN No fire	1.0	0.16	-0.33	0.48
if ['Precip Average', 'Wind Low', 'Hum Low'] THAN Fire	1.0	0.12	-0.5	0.43
if ['Summer', 'Snow Low', 'Hail Low'] THAN Fire	0.97	0.65	-0.5	0.58

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =50

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Wind Low', 'Insol Haight', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.29	-0.5	0.49
if ['Wind Low', 'Evap Haight', 'Hum Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.21	-0.33	0.5
if ['Precip Low', 'Wind Average'] than Fire	0.62	0.35	-1.0	0.21
if ['Spring', 'Evap Average', 'Snow Low', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Winter', 'Temp Low', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Evap Haight', 'Insol Haight', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.3	-0.5	0.5
if ['Precip Low', 'Wind Low', 'Hum Low'] than Fire	1.0	0.19	-0.5	0.46
if ['Insol Haight', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.33	-0.33	0.53

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =60

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Wind Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	0.71	0.42	-0.5	0.38
if ['Winter', 'Temp Low', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Winter', 'Precip Low', 'Wind Haight', 'Evap Low', 'Insol Low', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.01	-0.2	0.46
if ['Spring', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{Low} '] than No fire	1.0	0.27	-0.5	0.48
if ['Winter', 'Temp Low', 'Precip Low', 'Wind Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.02	-0.2	0.47
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Precip Low', 'Wind Low', 'Hail Low'] than Fire	0.67	0.23	-0.5	0.3
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Wind _{Low} ', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{Low} '] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =70

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Temp Average', 'Precip Low', 'Wind Average', 'Evap Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.02	-0.2	0.47
if ['Precip _{Haight} ', 'Wind _{Low} ', 'Hail _{Low}] than Fire	1.0	0.02	-0.5	0.41
if ['Precip Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.25	-0.33	0.51
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Precip Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	0.68	0.58	-0.5	0.41
if ['Precip Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	0.68	0.58	-0.5	0.41
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Temp Average', 'Precip Average', 'Evap Average', 'Insol Low', 'Snow Low'] than No fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if ['Winter', 'Temp Low', 'Precip Average', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if ['Wind _{Low} ', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{Low}] than Fire	0.71	0.42	-0.5	0.38

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =80

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Winter', 'Temp Low', 'Precip Low', 'Insol Low', 'Snow Haight', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.01	-0.2	0.46
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Spring', 'Evap Average', 'Snow Low', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.24	-0.33	0.5
if ['Temp Average', 'Precip Haight', 'Wind Low', 'Evap Average', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.02	-0.25	0.46
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.57	0.49
if ['Evap Haight', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	0.97	0.54	-0.5	0.54
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.317	-0.5	0.49
if ['Wind _{Low} ', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{Low} ', 'Hail _{Low}] than Fire	1.0	0.31	-0.33	0.53
if ['Precip Low', 'Hum Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.25	-0.5	0.48

Nombre de particules =50 Nombre d'itérations =90

Les règles :	conf	cove	comp	fitness
if ['Winter', 'Temp Low', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if ['Precip Low', 'Wind Low', 'Hum Low'] than Fire	1.0	0.19	-0.5	0.46
if ['Wind Low', 'Hum Low', 'Hail Low'] THAN Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Winter', 'Temp Low', 'Precip Low', 'Wind Haight', 'Evap Average', 'Hail Low'] than No fire	1.0	0.01	-0.2	0.46
if ['Precip Low', 'Hum _{Low} ', 'Snow _{Low}] than Fire	1.0	0.25	-0.5	0.48
if ['Evap Haight', 'Hum Low', 'Snow Low'] than Fire	1.0	0.31	-0.5	0.49
if ['Wind Low', 'Insol Haight', 'Snow Low', 'Hail Low'] than Fire	1.0	0.29	-0.33	0.52
if ['Winter', 'Temp Low', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.33	-0.33	0.5
if ['Winter', 'Temp Low', 'Evap Low'] than No fire	1.0	0.33	-0.5	0.5
if ['Precip Low', 'Wind Average', 'Snow Low'] than Fire	0.69	0.35	-0.5	0.35

3.4.3 Discussion des résultats :

D'après les résultats, Il est constaté que l'algorithme App-Rsa donne de meilleurs résultats lorsque le nombre d'itérations est élevé. Cela signifie que plus le nombre d'itérations n'est important, meilleures sont les performances de l'algorithme dans la prédiction des incendies de forêt.

3.5 L'évaluation de modèle :

La matrice de confusion est en effet un outil d'analyse prédictive utilisé dans l'apprentissage automatique, en particulier pour évaluer les performances d'un modèle de classification. Elle est généralement utilisée dans des tâches de classification binaire, où le modèle doit prédire l'appartenance d'un exemple à l'une de deux classes possibles. [44]

La matrice de confusion est un tableau qui récapitule les résultats des prédictions du modèle par rapport aux vraies valeurs des exemples de données. Elle est généralement présentée sous la forme d'une matrice carrée, où les lignes représentent les classes réelles et les colonnes représentent les classes prédites par le modèle. [44]

Class designation		Actual class	
		True (1)	False (0)
Predicted class	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

FIGURE 3.12 – La matrice de confusion. [45]

- La matrice de confusion est composée de quatre éléments principaux :

-Vrais positifs (VP) : le modèle a prédit correctement que l'exemple appartient à la classe positive.

-Faux positifs (FP) : le modèle a prédit à tort que l'exemple appartient à la classe positive.

-Vrais négatifs (VN) : le modèle a prédit correctement que l'exemple n'appartient pas à la classe positive.

-Faux négatifs (FN) : le modèle a prédit à tort que l'exemple n'appartient pas à la classe positive. [44]

-En utilisant ces éléments, la matrice de confusion permet de calculer le mesure de la performance pour évaluer le modèle, telles que l'accruacy

L'accruacy : Est un critère d'évaluation des modèles de classification. Elle représente la proportion des prédictions correctes réalisées par le modèle. L'équation suivante représente la formule de calcul de cette mesure. [44]

$$ACC = (TP + TN) / TP + TN + FN + FP$$

Pour évaluer l'efficacité de notre modèle de prédiction des incendies de forêt, nous avons divisé notre jeu de données en deux ensembles distincts : un ensemble d'entraînement et un ensemble de test. L'ensemble d'entraînement représente 80% de l'ensemble de données initial, tandis que l'ensemble de test correspond aux 20% restants.

En utilisant cette approche, nous avons obtenu une accuracy de 75% lors de l'évaluation du modèle sur l'ensemble de test. Elle représente le pourcentage d'incendies de forêt correctement prédits par rapport au nombre total d'incendies de forêt dans l'ensemble de test.

Ce résultat indique que notre modèle est capable de prédire les incendies de forêt avec une précision satisfaisante, mais il reste des opportunités d'amélioration pour renforcer sa performance et sa fiabilité. .

3.6 Environnement de travail et les outils utilisé :

L'environnement de travail est constitué par deux parties nommés environnement matériel et environnement logiciel.

3.6.1 Environnement matériel :

L'environnement matériel utilisé pour accomplir ce travail est caractérisé par :

- Système d'exploitation : Windows 10 professionnel 64-bit .
- CPU : Intel(R) Core (TM) i5-6300CPU @ 2.40GHz, 2.50GHz.
- Mémoire : 8 GO.

3.6.2 Environnement logiciel :

L'environnement logiciel utilisé composé des outils logiciel suivant :

- Anaconda :Anaconda est une plateforme de distribution et de gestion de packages logiciels largement utilisée dans le domaine de la science des données, de l'apprentissage automatique et de l'analyse de données. Elle fournit un environnement complet pour travailler avec des langages de programmation tels que Python et R, en offrant un large éventail de bibliothèques, d'outils et de packages préinstallés.
Anaconda est apprécié pour sa facilité d'utilisation et sa portabilité, ce qui en fait un choix populaire pour les scientifiques des données, les chercheurs et les développeurs qui travaillent sur des projets nécessitant des bibliothèques spécialisées et des environnements virtuels. [46]

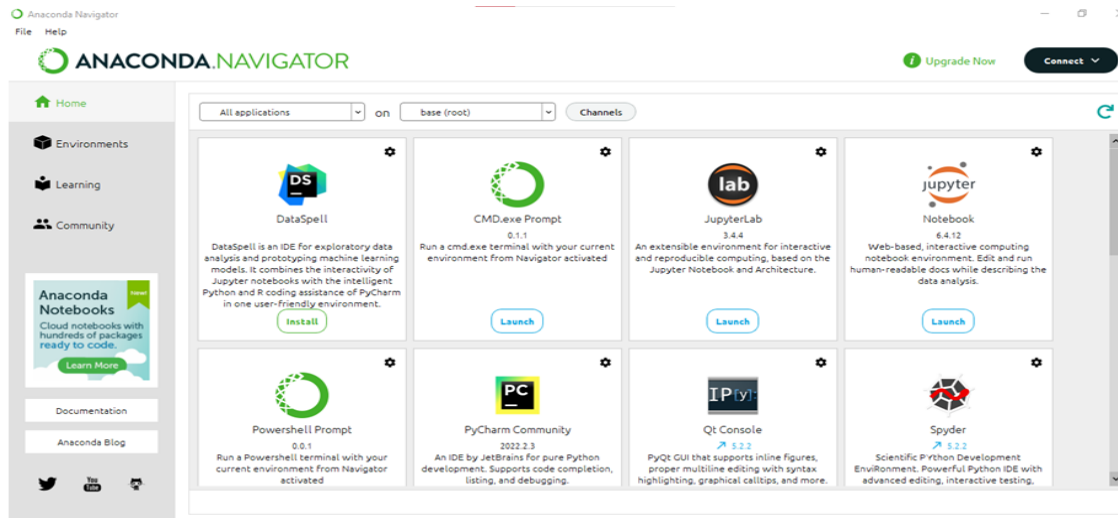


FIGURE 3.13 – L’interface d’anaconda. [46]

- **Spyder** : Spyder est un environnement de développement pour Python, disponible sur le navigateur Anaconda. Il est libre (licence MIT) et compatible avec plusieurs plateformes telles que Windows, Mac OS et GNU/Linux. Créé et développé par Pierre Raybaut en 2008, Spyder est extensible grâce à l’ajout de plugins. Lorsque vous ouvrez le navigateur Anaconda, vous pouvez accéder à l’interface graphique (GUI) qui permet de lancer des applications. Pour ouvrir l’interface de Spyder, il suffit de cliquer sur le bouton "Launch" correspondant à l’application Spyder.[46]

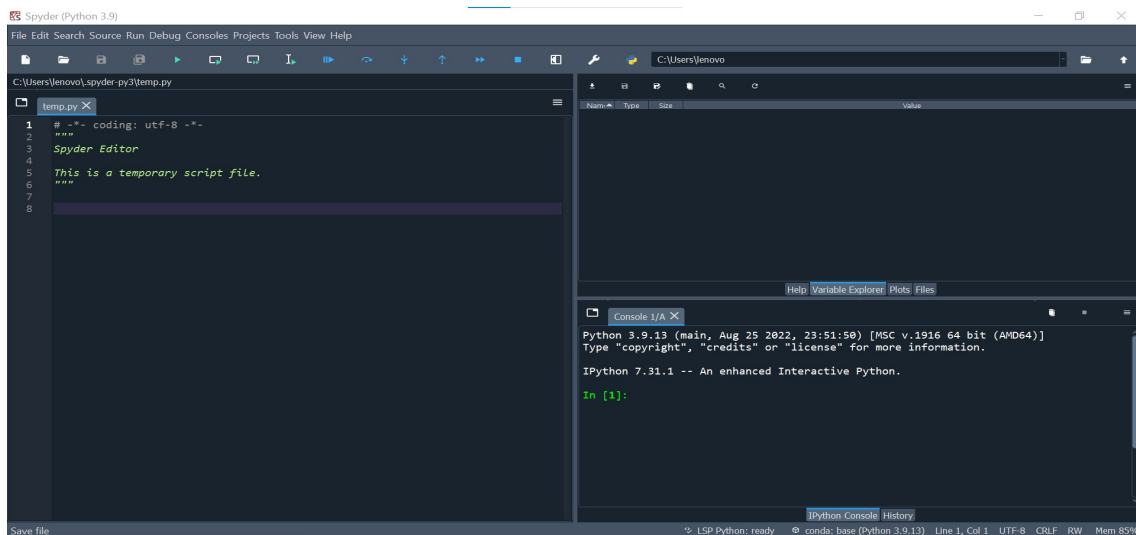


FIGURE 3.14 – L’interface graphique de spyder(IDE).[46]

3.6.3 Langage de programmation :

Actuellement, il existe de nombreux langages de programmation, chacun ayant ses propres particularités. Parmi ces langages, nous avons choisi de nous concentrer sur Python.

- **Python** : C'est l'un des langages de programmation les plus intéressants du moment, et il l'a inventé "Guido van Rossum", la première version de Python sortie en 1991. C'est un langage Programmation interprétée, multi-paradigme, multiplateforme. Encourage la programmation Impératif structuré, fonctionnel et orienté objet. Python est simple et puissant à la fois, il permet d'écrire des scripts très simples, grâce à Ses nombreuses bibliothèques nous permettent de travailler sur des projets plus ambitieux. [46]

3.6.4 Les bibliothèques :

- **Pandas** : Pandas est une bibliothèque populaire en Python utilisée pour le traitement et l'analyse de données. Elle propose des structures de données flexibles, notamment le DataFrame, qui permet d'organiser les données en lignes et en colonnes. Pandas offre des fonctionnalités avancées pour manipuler, analyser et visualiser les données, ainsi que pour importer et exporter des données à partir de différents formats de fichiers. Il est largement utilisé dans des domaines tels que l'analyse de données, la science des données et la finance.[46]
- **NumPy** : Numpy est une bibliothèque essentielle en Python pour le calcul numérique et le traitement de tableaux multidimensionnels. Elle fournit des structures de données performantes, telles que les tableaux ndarray, qui permettent de stocker et de manipuler efficacement de grandes quantités de données. NumPy propose également des fonctions mathématiques avancées et des outils pour l'intégration avec d'autres langages de programmation. Il est largement utilisé dans des domaines tels que la science des données, l'apprentissage automatique et la simulation numérique. [46]
- **Matplotlib** : Matplotlib est une bibliothèque de visualisation de données en Python, largement utilisée pour créer une variété de graphiques et de visualisations à partir de données. Elle offre une grande flexibilité et personnalisation, permettant de contrôler tous les aspects des graphiques. Matplotlib est facile à utiliser, avec une syntaxe similaire à celle de MATLAB, et fonctionne bien avec les tableaux et les données NumPy. C'est un outil essentiel pour explorer, analyser et communiquer des informations à partir de jeux de données dans divers domaines. [46]
- **Apyori** : Apyori est une bibliothèque Python spécifique à l'algorithme Apriori, utilisée pour extraire des règles d'association à partir de données transactionnelles. Elle offre une interface simple pour définir des seuils de support et de confiance, et permet d'obtenir des règles d'association significatives. "Apyori" est couramment utilisée dans des applications telles que la recommandation de produits et l'analyse de paniers d'achats. [46]

- **Random** : La bibliothèque "random" en Python est une bibliothèque intégrée qui fournit des fonctionnalités pour générer des nombres aléatoires. Elle permet de créer des valeurs aléatoires pour diverses utilisations, comme la génération de nombres aléatoires, la sélection aléatoire d'éléments dans une liste, la permutation d'éléments, etc. [46]

3.7 Conclusion :

En conclusion, Les résultats obtenus démontrent que notre modèle est capable de fournir des prédictions précises sur la prédiction des incendies dans différentes périodes. Cela permet aux autorités compétentes et aux services d'urgence de mieux se préparer et de prendre des mesures proactives pour minimiser les risques et les dommages causés par les incendies.

Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude a examiné en détail le domaine de la prédiction des incendies et son importance croissante dans la gestion des catastrophes naturelles. Grâce aux avancées technologiques et à l'utilisation de techniques de data mining et d'analyse des données, il est devenu possible d'améliorer considérablement la prédiction des incendies et d'aider les autorités compétentes à prendre des décisions éclairées pour la prévention et la lutte contre ces catastrophes.

L'objectif principal de ce mémoire est de développer une méthodologie de prédiction des incendies de forêt en utilisant la classification basée sur les règles. Nous cherchons à identifier les règles de classification pertinentes qui déterminent la présence ou l'absence d'un incendie de forêt et à comprendre les paramètres qui influent sur ces incendies.

Pour atteindre notre objectif, nous avons mis en œuvre une approche de classification basée sur les règles afin d'extraire des règles de classification à partir de données historiques sur les incendies de forêt. Nous avons utilisé des techniques d'apprentissage automatique pour analyser ces données et identifier les relations entre les paramètres environnementaux et la survenue d'incendies de forêt.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons collecté une vaste quantité de données sur les incendies de forêt, notamment des mesures de température, d'humidité, de vitesse du vent et d'autres paramètres environnementaux. En utilisant ces données, nous avons appliqué des méthodes de prétraitement pour nettoyer et normaliser les informations.

Ensuite, nous avons utilisé l'algorithme de classification basée sur les règles pour extraire des règles significatives à partir de ces données prétraitées. Ces règles nous ont permis de créer des modèles de prédiction capables de déterminer si un incendie de forêt est susceptible de se produire en fonction des paramètres environnementaux donnés et nous avons évalué les performances de nos modèles en utilisant des mesures telles que l'accuracy .

Cependant, il est important de souligner que la prédiction des incendies de forêt reste un domaine de recherche en évolution. Des efforts supplémentaires sont nécessaires pour améliorer et affiner les modèles de prédiction, en tenant compte de la variabilité des conditions environnementales et en intégrant de nouvelles données et techniques d'apprentissage automatique.

Bibliographie

- [1] E Plana, M Font, M Serra, S Chauvin, and J Gladiné. Les incendies en forêt, guide pour les journalistes et les médias. *Edition CTFC*, 2016.
- [2] Aline Mardirossian et Benoît Sallé Florian Marc. Incendie et lieu de travail prévention et organisation dans l'entreprise. *INRS*, 2020.
- [3] James Tetazoo. Ministère de l'intérieur/gendarmerie nationale. Available at www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/pjgn/ircgn/l-expertise-decodee/analyse-chimique/enqueter-sur-les-feux-de-foret-un-travail-de-collaboration{http://}(2023/02/12).
- [4] Mouvement mondial pour les basques tropicales. Définition des forêts, 2010.
- [5] Ministère de l'Écologie et du Développement durable. Les feux de forêt. Technical report, Direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs, Septembre 2002.
- [6] Pierre-Yves Colin and Marielle Jappiot. *Protection des forêts contre l'incendie : fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen*, volume 36. Food & Agriculture Org., 2001.
- [7] MEDDE. Les feux de forêt. Technical report.
- [8] Samah MOKHTARI. *Contribution à la gestion des connaissances en gestion des risques : application aux feux de forêt dans le massif des Aurès*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2018.
- [9] M Jappiot, T Curt, François Pimont, and Jean-Luc Dupuy. Les facteurs naturels du comportement des feux de forêts. *Forêt Entreprise*, (185) :16–18, 2009.

- [10] S Gødde. Données climatiques et risques d'incendie de forêts en provence. *Méditerranée*, 24(1) :19–33, 2018.
- [11] Peter Löffler et Marco Onida. Forest fires in europe, middle east and north africa 2021. Technical report, 2021.
- [12] Guillaume Calas. Etudes des principaux algorithmes de data mining. *Spécialisation Sciences Cognitives et Informatique Avancée, France*, 2009.
- [13] Daniel T. Larose and Chantal D. Larose. *Data Mining : Découverte de connaissances dans les données*. Deuxième édition edition, 2014.
- [14] Gilbert Saporta. Introduction au data mining et à l'apprentissage statistique. 2018.
- [15] Pr. DARGHAM ABDELMAJID. *Data Mining & Texte Mining*. ENSA Khouribga, 2018.
- [16] Institut supérieur de gestion. Introduction à data mining. 2020. Année universitaire 2020/2021.
- [17] Mohammed J. Zaki and Limsoon Wong. *Data Mining Techniques*. Maison d'édition, Troy, New York, USA and Singapore, 2003.
- [18] LIAUDET Bertrand. Introduction au data mining. Cours, Mai-Juin 2006. EPF - 4ème année - Option Ingénierie d'Affaires et de Projets.
- [19] Jiawei Han, Micheline Kamber, and Jian Pei. *Data mining concepts and techniques third edition*. 2012.
- [20] Ltifi Hela, Ben Ayed Mounir, Kolski Christophe, and Alimi ADEL.M. Démarche centrée utilisateur pour la conception de siad basés sur un processus d'ecd, application dans le domaine de la santé. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 1, 2014.
- [21] Mohammed J. Zaki et Limsoon Wong. Data mining techniques. *WSPC*, 35, 2003.
- [22] J. Han et M. Kamber. *Data mining : Concepts and techniques*. 2000.
- [23] PREUX. Fouille de donnees. 31 aout 2009.

- [24] Nilanjan Haldar Satyasan Changdar Samiddha Mukherjee, Ravi Shaw. A survey of data mining applications and techniques. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*,, 6, 02 Mars 2016.
- [25] Dr.S.Sukumaran G.Kesavaraj. A study on classification techniques in data mining. Juillet 4 - 6, 2013,.
- [26] GAGAOUA Meriem. *Apprentissage et fouille de données par les algorithmes bio-inspirés : Application à la reconnaissance de caractères arabes manuscrits*. PhD thesis, 2012.
- [27] Thair Nu Phyu. Survey of classification techniques in data mining. *IMECS*, 1, Mars 18 - 20, 2009.
- [28] JamesTetazoo. Abriefguidetorecreationalpyromania. Availableat<http://www.blowinglotsofweirdstuffup.com/guide.html>(2023/04/23).
- [29] Amal Abdulbaqi Maryoosh; Enas Mohammed Hussein. A review : Data mining techniques and its applications. *UCSMA*, 10, 3Mars2022.
- [30] Abdullahi Sidow Osman1. Data mining techniques : Review. *IJDSR*, 2, 1 June 2019.
- [31] Niro. K-means data clustering. Availableat<http://towardsdatascience.com/k-means-data-clustering-bce3335d2203>(2023/03/15).
- [32] Faroudja Abid et and Nouma Izeboudjen. Predicting forest fire in algeria using data mining techniques : Case study of the decision tree algorithm. *DMN*, 2020.
- [33] BOUROUBA Charaf eddine etKHALFET Houdheifa. *Etude du risque d'incendie en milieu professionnel*. PhD thesis, Po-dunk IN, 2019.
- [34] Dhumal Rashmi Amol. Prediction of fire propagation in forest areas using genetic algorithm. *ICACC*, 2020.
- [35] Amanchi SravanandChimataSuman AdhikariDurgaVenkataMadhav, AddankiGargeya. Prediction offorestfiresusinglogistic regression. Mars31,2023.
- [36] Khor Jia Yunb Ku Ruhana Ku-Mahamuda. Forest fire pattern extraction and rule generation using sliding window technique.

- [37] Mikhaïl Kanevski Michael Leuenberger and Carmen D. Vega Orozco. Forest fires in a random forest. *Journal of Sketchy Physics*, 15, 2013.
- [38] Demin Gao¹ et Shuo Zhang¹ Haoran Zhu. A perceptron algorithm for forest fire prediction based on wireless sensor networks. *JIoT*, 1, 2019.
- [39] Jack Otieno Odunga. *A Machine Learning Algorithm for Predicting Wild Fire Occurrence*. PhD thesis, 2020.
- [40] conservation des forêt de kenchela. Plan de prévention des incendies de forêt pour la saison 2023. Technical report, Kenchela, 2023.
- [41] Mittal Mandeep. Efficient ordering policy for imperfect quality items using association rule mining. *IGI global*, (1), 2014.
- [42] Honghua Rao Heming Jia Qingxin Liu Di Wu, Changsheng Wen and Laith Abualigah. Modified reptile search algorithm with multi-hunting coordination strategy for global optimization problems. *Mathematical biosciences and engineering : MBE*, 29 mars 2023.
- [43] Natee Panagant Pranav Mehta Betül Sultan Yildiz, Sujin Bureerat and Ali Riza Yildiz. Reptile search algorithm and kriging surrogate model for structural design optimization with natural frequency constraints. *Materials Testing*, octobre 2022.
- [44] Zohreh Karimi. Confusion matrix. (2), October 2021.
- [45] Željko Đ. Vujović. Classification model evaluation metrics. *IJACSA*, 12(2), 2021.
- [46] docs.python. La référence du langage python. Available at <http://https://docs.python.org/fr/3/reference/index.html#reference-index> (2023/5/25).

Les données météorologiques de la wilaya de kenchela 2010-2022

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	12.3	30.1	4.2	79.6	171.1	87.1	0	0
Février	14.8	15.0	5.0	110.6	165.0	81.5	1	0
Mars	18.2	15.5	3.2	119.0	192.0	83.7	0	0
Avril	21.0	84.0	3.1	127.0	211.9	91.2	0	0
Mai	22.7	87.4	3.9	125.9	237.5	84.4	0	0
Juin	30.4	25.3	4.2	200.4	263.3	72.9	0	0
Juillet	34.4	17.0	3.0	247.3	326.3	70.2	0	0
Août	34.2	30.60	2.91	209.21	306.0	65.91	0	0
Septembre	27.7	70.6	3.37	171.0	229.0	83.8	0	0
Octobre	22.5	36.7	4.0	139.1	205.1	83.4	0	0
Novembre	16.0	73.2	5.2	82.7	155.0	86.7	0	0
Décembre	14.3	31.6	4.1	93.9	95.9	80.3	3	0

TABLE A.1 – les données météorologiques à kenchela 2010

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	13.1	26.9	2.3	54.6	159.4	86.0	1	0
Février	10.4	86.2	4.8	41.07	142.2	92.0	2	1
Mars	14.4	98.8	4.1	66.8	166.4	91.0	1	0
Avril	20.5	46.3	3.6	79.5	170.1	91.0	0	0
Mai	22.8	128.5	3.4	88.7	140.5	92.0	0	0
Juin	28.0	57.6	2.3	100.4	242.9	85.0	0	0
Juillet	34.4	26.8	3.4	237.8	292.7	69.9	0	0
Août	34.5	15.4	3.2	253.5	334.0	73.0	0	0
Septembre	30.5	18.1	2.4	162.4	259.5	87.0	0	0
Octobre	20.6	64.9	2.4	90.2	209.9	91.0	0	0
Novembre	16.0	13.2	3.2	60.8	150.9	89.0	0	0
Décembre	11.8	42.3	3.2	51.0	131.0	84.0	0	0

TABLE A.2 – les données météorologiques à kenchela 2011

ANNEXE A. LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE LA WILAYA DE KHENCHELA
2010-2022

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	10.2	26.7	3.4	49.7	157.9	97.2	1	0
Février	7.6	66.1	3.5	40.2	145.8	96.4	5	0
Mars	15.9	31.5	3.6	95.9	176.5	84.6	1	0
Avril	19.8	42.4	4.1	117.0	199.0	82.9	0	0
Mai	26.2	46.4	2.5	121.8	247.4	83.1	0	0
Juin	34.3	16.2	2.9	295.8	245.0	67.8	0	0
Juillet	36.3	3.4	3.0	353.5	272.4	65.3	0	0
Août	36.7	24.47	2.7	277.0	293.1	95.0	0	0
Septembre	28.4	73.2	2.8	198.0	204.1	82.2	0	0
Octobre	24.8	25.9	2.7	141.8	213.4	85.3	0	0
Novembre	18.6	27.1	2.5	81.8	190.8	80.8	0	0
Décembre	13.4	5.0	2.9	62.9	174.5	87.2	0	0

TABLE A.3 – les données météorologiques à khenchela 2012

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	11.4	37.4	4.1	73.5	133.0	84.0	0	0
Février	10.8	22.3	4.7	77.8	131.2	85.0	4	0
Mars	17.8	50.0	4.5	110.8	195.2	81.0	0	0
Avril	22.0	37.2	4.51	121.8	253.0	61.0	0	0
Mai	24.8	38.1	3.6	138.8	228.1	84.0	0	0
Juin	29.9	0.4	2.9	198.9	269.9	69.0	0	0
Juillet	34.2	39.8	2.6	206.3	285.2	69.0	0	0
Août	32.2	57.4	2.9	207.3	294.3	72.0	0	1
Septembre	27.4	134.8	1.9	123.7	212.5	79.0	0	0
Octobre	11.4	37.4	2.2	73.5	133.0	72.0	0	0
Novembre	14.3	31.7	4.0	59.4	153.0	82.0	0	0
Décembre	11.1	28.6	2.0	29.5	157.1	83.8	0	0

TABLE A.4 – les données météorologiques à khenchela 2013

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	12.3	47.4	3.4	64.9	175.4	85.5	1	0
Février	14.4	38.0	3.3	86.5	188.0	83.6	1	1
Mars	13.0	79.1	4.1	67.8	162.4	86.1	1	2
Avril	20.7	0.1	4.1	130.7	288.9	79.4	0	0
Mai	25.4	32.3	3.8	165.1	307.8	81.6	0	0
Juin	29.7	49.3	3.6	202.7	289.2	71.5	0	0
Juillet	34.6	40.0	3.7	288.0	319.4	59.4	0	0
Août	35.6	24.0	2.7	246.2	293.7	65.5	0	0
Septembre	31.2	30.0	3.2	205.5	215.0	72.4	0	0
Octobre	24.8	15.6	3.4	158.9	226.1	70.9	0	0
Novembre	19.0	36.6	3.9	129.2	139.1	77.9	0	0
Décembre	10.7	68.5	3.9	55.4	118.0	95.1	3	0

TABLE A.5 – les données météorologiques à khenchela 2014

ANNEXE A. LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE LA WILAYA DE KHENCHELA
2010-2022

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	10.6	39.8	4.1	65.9	141.4	88.0	3	8
Février	8.8	83.7	4.7	55.5	101.8	91.0	3	2
Mars	15.0	87.4	4.7	98.6	216.2	90.0	2	0
Avril	21.4	1.7	2.7	113.7	270.5	85.0	0	0
Mai	26.7	18.2	4.4	201.0	250.7	78.0	0	1
Juin	29.7	36.1	2.9	185.6	247.6	73.0	0	0
Juillet	34.7	30.5	2.3	248.3	342.7	50.0	0	0
Août	33.3	35.7	2.7	216.1	282.8	64.0	0	0
Septembre	28.7	53.1	3.6	176.8	205.0	75.0	0	0
Octobre	24.8	15.6	3.4	158.9	226.1	71.0	0	0
Novembre	19.0	36.3	3.9	129.2	139.1	79.0	0	0
Décembre	10.7	68.5	3.9	55.4	118.0	93.0	3	5

TABLE A.6 – les données météorologiques à khenchela 2015

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	14.3	22.9	3.2	73.0	176.7	83.0	1	4
Février	14.8	13.5	3.9	83.8	175.8	83.0	0	6
Mars	15.3	23.0	5.1	108.5	198.6	78.0	2	2
Avril	22.3	54.2	3.8	124.6	233.6	82.0	0	0
Mai	25.1	60.8	3.65	153.8	208.8	77.0	0	0
Juin	30.9	2.0	3.68	291.0	219.0	96.6	0	0
Juillet	34.0	3.0	2.75	219.0	335.0	60.2	0	0
Août	32.0	24.0	2.90	184.0	334.0	66.3	0	0
Septembre	26.6	14.0	3.90	125.0	229.0	83.6	0	0
Octobre	24.8	34.0	3.47	127.0	234.0	77.4	0	0
Novembre	16.4	35.0	3.20	63.0	193.0	82.4	4	11
Décembre	11.6	32.0	2.89	30.0	124.0	92.0	0	4

TABLE A.7 – les données météorologiques à khenchela 2016

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	14.1	36.8	3.87	69.32	156.6	85.1	1	3
Février	21.9	39.3	4.1	80.0	149.2	85.7	4	2
Mars	23.1	60.0	4.6	96.42	193.1	83.8	1	1
Avril	26.6	23.3	3.77	122.7	261.5	76.9	0	0
Mai	34.2	37.1	3.86	164.67	248.9	80.2	0	0
Juin	38.3	22.0	3.27	219.55	256.4	77.5	0	0
Juillet	10.37	18.3	2.83	240.4	270.6	59.7	0	0
Août	33.27	35.2	3.0	213.4	301.2	66.9	0	0
Septembre	28.47	58.0	3.15	157.75	215.4	77.5	0	0
Octobre	22.45	23.5	3.04	129.5	204.8	72.8	0	0
Novembre	17.17	28.1	3.75	95.2	156.1	20.08	1	2
Décembre	11.6	49.4	3.0	42.57	129.3	91.0	1	2

TABLE A.8 – les données météorologiques à khenchela 2017

ANNEXE A. LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE LA WILAYA DE KHENCHELA
2010-2022

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	12.8	36.72	3.64	68.28	162.5	85.4	2	4
Février	14.9	43.6	4.0	76.45	153.7	85.8	2	3
Mars	16.6	62.3	4.62	92.83	192.5	85.1	1	1
Avril	22.75	19.8	3.59	122.92	263.6	80.8	0	0
Mai	27.85	37.1	3.92	171.14	254.1	79.2	0	0
Juin	32.15	27.35	3.36	261.71	253.05	79.7	0	0
Juillet	28.41	12.95	2.89	248.92	316.9	57.3	0	0
Août	33.54	29.7	2.82	214.92	302.9	65.7	0	0
Septembre	28.7	38.77	3	165.93	216.1	77.1	0	0
Octobre	24.21	22.17	3.32	122.22	222.8	73.02	0	0
Novembre	17.89	34.0	3.68	104.15	156.8	64.8	1	3
Décembre	11.15	54.6	3.42	183.37	122.3	92.8	2	3

TABLE A.9 – les données météorologiques à kenchela 2018

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	12.95	34.05	3.70	69.12	159.3	85.4	2	5
Février	15.1	45.02	4.17	73.93	145.1	86.4	2	3
Mars	17.5	58.17	4.75	99.08	192.6	84.22	2	1
Avril	23.26	24.75	3.46	120.98	257.3	81.2	0	0
Mai	28.13	38.3	3.95	172.65	240.6	78.6	0	0
Juin	32.76	21.86	3.30	239.46	244.02	81.7	7	0
Juillet	26.87	16.18	2.69	59.78	316.3	56.8	0	0
Août	33.02	31.15	2.85	207.10	305.2	65.7	0	0
Septembre	28.11	40.96	3.52	156.37	216.4	77.65	0	0
Octobre	23.47	23.81	3.28	134.40	221.9	73.55	0	0
Novembre	17.61	33.35	3.63	97.88	161.2	61.75	2	4
Décembre	11.26	51.12	3.30	77.83	123.4	92.2	2	4

TABLE A.10 – les données météorologiques à kenchela 2019

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	13.53	32.61	3.60	69.93	163.8	84.72	2	4
Février	16.67	35.35	4.04	78.54	155.95	85.22	2	4
Mars	18.12	50.86	4.76	99.20	194.2	82.78	2	1
Avril	23.72	30.51	3.65	122.8	254.0	80.22	0	0
Mai	28.82	43.32	3.84	165.56	238.1	78.75	0	0
Juin	33.52	18.30	3.40	252.93	243.1	83.87	0	0
Juillet	24.91	12.60	2.79	192.02	309.7	58.5	0	0
Août	33.02	30.01	3.06	204.85	310.8	66.15	0	0
Septembre	29.63	37.93	3.50	151.26	219.2	78.96	0	0
Octobre	23.73	25.87	3.50	128.28	220.9	74.19	0	0
Novembre	17.26	32.61	3.27	90.01	166.8	57.25	2	5
Décembre	11.40	46.78	3.15	83.44	124.8	92.0	1	3

TABLE A.11 – les données météorologiques à kenchela 2020

ANNEXE A. LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE LA WILAYA DE KHENCHELA
2010-2022

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	13.34	35.04	3.70	69.16	160.5	85.15	2	4
Février	17.14	40.81	4.07	77.23	150.9	85.78	3	3
Mars	18.83	57.83	4.68	96.88	193.1	83.97	2	1
Avril	24.08	24.59	3.61	96.88	259.1	79.78	0	0
Mai	29.75	38.95	3.89	164.17	245.4	79.18	0	0
Juin	34.18	18.30	3.33	243.41	249.1	80.69	0	0
Juillet	22.64	60.03	2.8	185.28	303.4	58.07	0	0
Août	33.21	31.51	2.93	210.0	305.02	66.11	0	0
Septembre	28.72	43.91	3.29	157.82	216.8	77.80	0	0
Octobre	23.46	23.83	3.28	128.6	217.6	78.09	0	0
Novembre	17.48	40.76	3.58	96.6	160.2	50.97	2	4
Décembre	11.35	50.47	3.21	96.80	124.95	92.0	2	3

TABLE A.12 – les données météorologiques à khenchela 2021

Mois	Temp	Précip	Vent	Évap	Insol	Humid	Neige	Grêle
Janvier	13.15	34.6	3.66	69.12	161.5	85.16	2	4
Février	15.95	41.19	4.07	8.45	151.4	85.8	2	3
Mars	17.76	57.29	5.20	97.0	193.1	84.01	2	1
Avril	23.45	24.91	3.57	115.89	258.5	80.5	0	0
Mai	28.63	39.41	3.9	168.32	244.6	78.93	0	0
Juin	33.15	21.45	3.34	249.37	247.3	81.49	0	0
juillet	25.70	25.44	2.79	171.5	311.6	57.66	0	0
Août	33.19	30.60	2.91	209.21	306.0	65.91	0	0
Septembre	28.79	40.39	3.32	157.84	216.95	77.87	0	0
Octobre	23.71	23.92	3.34	128.37	204.3	74.71	0	0
Novembre	17.56	35.18	3.54	97.15	161.25	58.69	1	4
Décembre	11.29	50.74	3.27	96.80	123.86	92.25	2	3

TABLE A.13 – les données météorologiques à khenchela 2022

ANNEXE B. DES INFORMATIONS SUR LES FEUX DE FORÊT DE KHENCHELA

BILAN MENSUEL DES INCENDIES DU MOIS DE JUILLET 2017

N°	DAIRA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	DOMANIALE	
				LONGITUDE	LATITUDE	G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS
940177	OULED RECHACHE	MAHHEL	FORÊT URBAINE EZZA	7°113844	35°225443		10/7/17	1245	10/7/17	1330	10/7/17	1415	BRUOUS		
940177	OULED RECHACHE	MAHHEL	FORÊT URBAINE EZZA	7°113844	35°225443		10/7/17	1645	10/7/17	1700	10/7/17	1758	PA	0,985	
11402017	CHECHAR	KHIRANE	GLONIA TRAD - TERCEJLAT	6°96517	35°98708		30/7/17	1230	30/7/17	1300	30/7/17	1304	ALFA		
12408157	ELHAMMA	ELHAMMA	FRENGUEL - TACHEKRENT	7°98435	35°26673		30/7/17	1430	30/7/17	1445	30/7/17	1530	ALFA		
13409117	KHENCHELA	KHENCHELA	DJEBEL CHABORD	7°97813	35°25222		40/7/17	1925	40/7/17	1930	40/7/17	1955	PA		
14401717	OULED RECHACHE	MAHHEL	FORÊT URBAINE EZZA	7°113844	35°225443		50/7/17	1010	50/7/17	1025	50/7/17	1025	PA	0,07	
15400117	KHENCHELA	KHENCHELA	RAS BARDOUN	7°77249	35°25207		00/7/17	2150	00/7/17	2200	00/7/17	2315	PA+CV	0,03	
16401137	BABAR	BABAR	KHELFOUNI	7°11112	35°17413		00/7/17	1630	00/7/17	1645	00/7/17	1630	ALFA		
17401517	ELHAMMA	ENSIQHA	DJEBEL DJAHFA-ELGUABAA	7°98794	35°32378		11/07/17	2130	11/07/17	2135	12/07/17	2100	ALFA		
18401417	ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-EDHEHOURAT	6°94422	35°40155		17/07/17	1110	17/07/17	1111	18/07/17	1015	PA+CV+GO	1,5	
19401417	ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR - BOUBA/BOUBAQA	6°91870	35°26490		19/07/17	1330	19/07/17	1345	19/07/17	1725	PA+CV+GO+ALFA	0,5	
20401417	ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-SOUMAATE	6°93707	35°42270		21/07/17	1119	21/07/17	1130	21/07/17	1500	PA+CV+GO	0,3	
21401517	OULED RECHACHE	OULED RECHACHE	DJEBEL LAOUIDJA	7°20576	35°12151		21/07/17	1034	21/07/17	1050	21/07/17	1050	PA-BROUSS	1,5	

FIGURE B.7 – les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2017

BILAN MENSUEL DES INCENDIES DU MOIS DE JUILLET 2018

N°	DAIRA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	SUPERFICIES PARCOURUES PAR				
				LONGITUDE	LATITUDE	G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS	BRUOUS	ALFA	AUTRES
1401718	OULED RECHACHE	ELHAMMA	FORÊT ELILAKKE	7°1114	35°148		10/7/18	1930	10/7/18	1935	10/7/18	2330	ALFA					
6400010	DOUHAMA	DOUHAMA	FORÊT BEN OUDJAMA - CANTON ELHAMA - BEMMADJID	6°20403	35°20250		20/7/18	1020	20/7/18	1030	10/7/18	1005	PA - G-PRÉBICHER ALFA	240,000				
9402010	CHECHAR	KHIRANE	GHAFESSE	6°93911	35°98708		10/07/18	1915	10/07/18	1930	10/07/18	1615	ALFA		0,500			
1007	DOUHAMA	CHELLA	TOUGATE	6°932841	35°1117		10/07/18	1900	10/07/18	1924	10/07/18	1420	CV		0,010			
1307	KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT "KACHOUR" - CITE EMBASSADE	7°0722	35°26110		10/07/18	1430	10/07/18	1430	10/7	1920	BRUOUS		0,000			
1307	OULED RECHACHE	ELHAMMA	DHERIATE OULED MESEEM	7°10415	35°16230		20/07/18	510	20/07/18	500	20/07/18	1915	ALFA - BROUSS		1,000			
1307	ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT URBAINE	7°0143	35°40025		20/07/18	1000	20/07/18	1030	20/07/18	1000	BRUOUS		1,000			
1407	OULED RECHACHE	ELHAMMA	FORÊT TADELITE "TADRESTE"	7°2111	35°1702		20/07/18	2355	20/07/18	2300	20/7/18	2350	BRUOUS		0,000			
1507	AIN FOURA	AIN FOURA	FORÊT BORDJBOURNE	7°1010	35°26520		20/07/18	1100	20/07/18	1105	20/07/18	2000	PA - BROUSS	0,2500				
1507	ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT BARRAKES ELAERINE "AIN ELHAMA"	7°0284	35°26403		24/07/18	1005	24/07/18	1015	24/07/18	2000	CV - FIBRE		0,9000			
1507	ELHAMMA	ELHAMMA	YACHARANEY	6°0021	35°24433		24/07/18	1730	24/07/18	1745	24/07/18	1930	ALFA - DIESE		0,800			
1507	CHECHAR	REJELLA	KHIRANE	6°33348	35°02547		20/07/18	1000	20/07/18	1030	20/7/18	1026	ALFA - BROUSS - BLANCHE		0,110			
TOTAL													0,022	1,040	75,405			

FIGURE B.8 – les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2018

BILAN CUMUL DES INCENDIES DU 01/06/2019 AU 31/10/2019

DAIRA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	SUPERFICIES PARCOURUES PAR				
			LONGITUDE	LATITUDE	G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS	BRUOUS	ALFA	
KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT BEN MAARFA - BORDJBOURNE	007°0731	35°25440		10/06/19	1943	10/06/19	1940	10/06/19	2100	PA		0,010			
CHECHAR	CHECHAR	KHIRANE	007°0705	34°59313		14/06/19	2145	14/06/19	2210	10/06/19	1910	ALFA			4,900		
ELHAMMA	ELHAMMA	FRENGUEL	007°0143	34°2355		10/06/19	1930	10/06/19	1945	10/06/19	1945	BRUOUS					
KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT FOUH "CITE EMBASSADE"	007°0702	35°26003		20/06/19	1930	20/06/19	1945	20/06/19	1240	PA+CV		0,040			
ELHAMMA	ELHAMMA	AIN ASHLANE	007°0136	35°06392		10/06/19	1200	10/06/19	1215	10/06/19	1400	10		0,050			
ELHAMMA	ELHAMMA	LAHOUZA	007°0103	35°10551		23/06/19	2005	23/06/19	2030	24/06/19	205	ALFA			10,000		
CHECHAR	CHECHAR	BORDJBOURNE	007°0702	35°26003		20/06/19	1940	20/06/19	1955	20/06/19	1930	ALFA+PA			2,000		
ELHAMMA	ELHAMMA	AIN MESEEM	007°0136	35°06392		20/06/19	1940	20/06/19	1955	20/06/19	2135	ALFA+PA			20,000		
KHENCHELA	KHENCHELA	ELMESHCHAD	007°0702	35°26003		09/07/19	1005	09/07/19	1020	09/07/19	1145	ALFA			4,000		
KHENCHELA	KHENCHELA	CINTAYAR ELAMOUH	007°0143	35°06392		09/07/19	1000	09/07/19	1020	09/07/19	1045	PA			0,250		
CHECHAR	CHECHAR	KHACHOUH	007°0702	35°26003		10/07/19	1000	10/07/19	1020	10/07/19	2020	ALFA			3,000		
CHECHAR	ELHAMMA	GHAFESSE	007°0103	35°06392		10/07/19	1930	10/07/19	1940	10/07/19	2100	ALFA			0,000		
CHECHAR	ELHAMMA	GLONIA AYABE	007°0143	35°10111		10/07/19	1930	10/07/19	1940	10/07/19	1450	ALFA			0,500		
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT BARRAKES ELAERINE "AIN ELHAMA"	007°0136	35°06392		23/07/19	1420	23/07/19	1430	23/07/19	1920	PA			0,1400		
ELHAMMA	TAMZA	FORÊT BARRAKES ELAERINE "AIN ELHAMA"	007°0136	35°06392		23/07/19	1935	23/07/19	1940	23/07/19	1045	DIESE			3,500		
KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-EDHEHOURAT	007°0702	35°26003		20/07/19	1930	20/07/19	1940	20/07/19	1930	PA - CV+G.O			3,0000		
ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-SOUMAATE	006°5335	35°2510		20/07/19	1900	20/07/19	1915	20/07/19	930	G.O - DIESE			0,5000		
ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-SOUMAATE	006°5007	35°2002		20/07/19	930	20/07/19	945	20/07/19	1930	G.O - PRELARIA - CV			1,0000		
ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-SOUMAATE	006°5006	35°2002		20/07/19	1030	20/07/19	1045	20/07/19	1000	CV - DIESE			0,5000		
KAIS	KAIS	FORÊT DOMANIALE REMILAT/ELMELLAGUE	006°5007	35°4104		20/07/19	1110	20/07/19	1125	20/07/19	2030	PA - CV+G.O			0,3500		
BABAR	BABAR	FORÊT DOMANIALE OULED ACHOUH	007°0702	35°26003		20/07/19	1030	20/07/19	1105	20/07/19	2100	ALFA					0,005
ELHAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE DES OULEDS YAGOUR-SOUMAATE	006°5004	35°2002		20/07/19	940	20/07/19	945	20/07/19	900	PA - CV			0,0500		

FIGURE B.9 – les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2019

BILAN MENSUEL DES INCENDIES DU MOIS DE JUILLET 2020

N°	DAIRA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	DOMANIALE			
				LONGITUDE	LATITUDE	G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS	BRUOUS	ALFA
6400020	KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT CHABORD/CHABORD - BEN MAARFA	007°0700	35°2011		00/7/20	1445	00/7/20	1445	00/7/20	1700	PA		0,000		
7400020	DOUHAMA	DOUHAMA	BEN OUDJAMA/KASSILA - CHAABAT CHELLA	006°05440	35°20302		20/7/20	1950	20/7/20	1000	20/7/20	1005	GO+CV				
8400020	ELHAMMA	HAIGHOU	HAKKAM LAKENI "LAKENIUMA"	007°1006	35°28467		30/7/20	2200	30/7/20	2230	00/7/20	290	ALFA				1,000
9400020	ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT OULED RECHACHE/DOUHOURNE	007°0700	35°49039		00/7/20	1040	00/7/20	1045	00/7/20	1230	FRÈNE-GO		0,250		
10400020	KHENCHELA	KHENCHELA	FORÊT CHABORD/CHABORD	007°0700	35°26133		00/7/20	1025	00/7/20	1030	00/7/20	1230	PA+CV		0,200		
11400020	CHECHAR	KHIRANE	GHAFESSE	006°06745	35°06005		00/7/20	1105	00/7/20	1140	00/7/20	1000	ALFA				4,000
12400020	DOUHAMA	DOUHAMA	ZERIE	006°07621	35°22550		30/7/20	950	30/7/20	950	30/7/20	1200	ALFA				0,400
13400020	CHECHAR	CHECHAR	ELKHEDJA EL HAMERA "EL MAKERAFI"	007°00003	35°07264		00/7/20	1000	00/7/20	1020	00/7/20	1100	ALFA				0,370
14400020	ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT OULED BORDJBOURNE/AKKAR	007°0700	35°49039		00/7/20	1145	00/7/20	1200	00/7/20	1420	CV+GO				1,000
15400020	KAIS	KAIS	FORÊT DOMANIALE REMILAT/ELMELLAGUE	006°50000	35°47161		10/7/20	1020	10/7/20	1035	10/7/20	1950	PA+CV+GO+PHYLA RIA		2,000		
16400020	ELHAMMA	ELHAMMA	F.D. OULED YAGOUR "BOUB														

ANNEXE B. DES INFORMATIONS SUR LES FEUX DE FORÊT DE KHENCHELA

1 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 2 MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL
 3 DIRECTION GENERALE DES FORETS
 4 CONSERVATION DES FORETS DE LA WILAYA DE KHENCHELA
 5
 6
 7 **BILAN CUMUL DES INCENDIES**
 8 **DU 01/06/2021 AU 31/10/2021**

N°	DARA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNEES GEOGRAPHIQUES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	DISPARAÎT	
				CARTE		G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS
				LONGITUDE	LATITUDE										
1	440021	CHECHAR	CHECHAR	TAMRETT	007 928183	35 100231									
2	240021	EL HAMMA	BAGHAI	NAMMAN LAKENIF	007 917127	35 205114	100621	1230	100621	1230	100621	2100	ALFA		
3	340021	OULED NECHACHE	OULED NECHACHE	TADRETT	007 33940	35 28733	100621	1443	100621	1920	100621	1915	ALFA		
4	440021	EL HAMMA	BAGHAI	M'RADE BARRAI	007 9221	35 282032	190621	1230	190621	1245	190621	1620	FA	1,000	
5	540021	OULED NECHACHE	BAGHAI	ZAAHRA	007 33337	35 10101	200621	1330	200621	1345	200621	1900	BROUSS		
6	640021	BOUHARRA	M'SATA	FORÊT DOMANIALE BEN MELOUA "BOURCHIMEN"	006 248927	35 001947	210621	1020	210621	1000	210621	0830	PA - ELPH	3,400	
7	740021	EL HAMMA	BAGHAI	M'RADE BARRAI	007 9221	35 282032	230621	1000	230621	1030	230621	2320	FA	0,500	
8	840021	EL HAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE OULED YAGHOUB "ELMAAT"	006 961206	35 252002	250621	1000	250621	1030	250621	1140	PA - CV	0,020	
9	940021	AIN TOULA	AIN TOULA	FORÊT BELKITAN "OULED YAMRABET"	007 36442	35 44952	250621	1020	250621	1040	250621	1700	FA	0,040	
10	1040021	CHECHAR	CHECHAR	EL MATREH	007 108704	35 085245	250621	1030	250621	1000	250621	1300	ALFA		
11	1140021	BOUHARRA	YABOUS	FORÊT DOMANIALE BEN OUDJAMA "KHADEE"	006 370212	35 225016	250621	1630	250621	1645	250621	1730	CV - G.OXY	0,005	
12	1240021	AIN TOULA	AIN TOULA	FORÊT BELKITAN "OULED YAMRABET"	007 36442	35 44952	250621	1740	250621	1730	250621	2000	FA	4,000	
		CUMUL													

FIGURE B.11 – les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2021

1 LIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 2 DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL
 3 MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL
 4 DIRECTION GENERALE DES FORETS
 5 CONSERVATION DES FORETS DE LA WILAYA DE KHENCHELA
 6
 7 **BILAN CUMUL DES INCENDIES**
 8 **DU 01/06/2022 AU 31/10/2022**

DARA	COMMUNE	NOM DE FORÊT OU LIEU DIT	COORDONNEES			DECLARATION		INTERVENTION		EXTINCTION		ESSENCE PRINCIPALE	DISPARAÎT												
			LONGITUDE	LATITUDE	G P S	DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE		FORET	MAQUIS	BROUSS	ALFA	AUTRE S	FORET							
OULED NECHACHE	OULED NECHACHE	AIN FERRI	007 93970	35 114300	10602	1544	10602	1550	10602	1600	ALFA														
CHECHAR	KHIDANE	BOULACCEZ BARRAI	007 02780	35 14510	10602	1445	10602	1455	10602	1630	ALFA														
EL HAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE OULED YAGHOUB "ELMAAT"	006 961206	35 252002	10602	1030	10602	1030	10602	1000	CV														
EL HAMMA	EL HAMMA	FORÊT DOMANIALE BEN MELOUA "BOURCHIMEN"	007 048101	35 443001	10602	1200	10602	1230	10602	1400	PA														
CHECHAR	CHECHAR	OUED AKKAR "ZENA"	006 38310	35 01333	10602	220	10602	240	10602	1030	ALFA														
EL HAMMA	EL HAMMA	FORÊT DOMANIALE OULED YAGHOUB "ELMAAT"	007 02203	35 25310	200622	1015	200622	1230	200622	1310	CV														
EL HAMMA	TAMZA	FORÊT DOMANIALE OULED YAGHOUB "ELMAAT"	006 961206	35 252002	200622	2145	200622	0000	200622	0430	PA														
ELAIS	ELAIS	FORÊT DOMANIALE BELLA "BOURCHIMEN"	006 540102	35 455103	210622	1200	210622	1230	210622	1000	PA - CV-G.O														
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT HAS SENOUSS "BOURCHIMEN"	007 02773	35 25514	230622	1030	230622	1100	230622	1145	PA														
BOUHARRA	BOUHARRA	FORÊT DOMANIALE BEN OUDJAMA "KHADEE"	006 370212	35 225016	230622	0930	230622	0900	230622	1000	PA - CV														
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT KALIL	007 10205	35 23501	210622	1035	210622	1015	210622	2045	PA														
ELAIS	ELAIS	FORÊT DOMANIALE BELLA "BOURCHIMEN"	006 540102	35 455103	10722	2040	10722	2030	10722	0000	PA - CV-ELD														
BOUHARRA	M'SATA	FORÊT DOMANIALE BEN OUDJAMA "KHADEE"	006 370212	35 225016	20722	1015	20722	1030	20722	1000	PA - ELD														
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT OUBAÏR "ZERRE CHARBON"	007 07533	35 284004	20722	2030	20722	2030	20722	0100	PA														
CHECHAR	CHECHAR	EL HARROU	007 02141	35 002010	10722	1000	10722	1030	10722	1030	ALFA														
BABAI	BABAI	BOUHARRA-JE	007 03747	35 30401	200722	1650	200722	1510	200722	2000	ALFA														
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT HAS SENOUSS	007 02773	35 25514	210722	1030	210722	1400	210722	1630	PA - CV-ELD- DISSE														
ELHAMMA	ELHAMMA	FORÊT KALIL	007 10414	35 443001	230722	1005	230722	0930	230722	1100	INDISPONIBLE														
BOUHARRA	CHECHAR	FORÊT DOMANIALE BEN OUDJAMA "KHADEE"	006 370212	35 225016	260722	1140	260722	1145	260722	1425	PA - CV														
CHECHAR	CHECHAR	ELAIS EL OUDIA EL HAMMA	007 08246	35 00001	200722	1000	200722	1000	200722	0110	ALFA														
BOUHARRA	BOUHARRA	FORÊT DOMANIALE BEN OUDJAMA "KHADEE"	006 370212	35 225016	230722	2030	230722	2000	230722	2335	PA - ELD														
		CUMUL																							

FIGURE B.12 – les incendies de Forêt de la willaya de khenchela 2022