

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة-  
UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences  
Département Ecologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master  
Filière : Ecologie et Environnement  
Spécialité : Protection des Ecosystèmes  
Intitulé :

Cartographie du risque d'incendie de forêt dans la partie nord  
du massif de Collo-Skikda-

**Présenté par :**

- BOUZAOUT Asma
- TALEB Ryhem
- LAALA Sabrine
- TIBAHINE Kheir eddine

**Membre de Jury:**

Président : *M<sup>me</sup>*. ROUDI Sonia (MCA) Université du 20 Août 1955. Skikda  
Promoteur : *Mr.* HADEF Azzedine (MAA) Université du 20 Août 1955. Skikda  
Examineur : *M<sup>me</sup>*. BOUDRIES Amel (MCB) Université du 20 Août 1955. Skikda

**Année universitaire 2023-2024**

## **Remerciements**

Nous tenons, tout d'abord, à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux de la force et la patience qu'il nous a donné pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions infiniment notre encadrant **Mr Hedef Azzedine, (M.A.A, université 20 Août 1955, Skikda)**, pour l'honneur qu'il nous a fait en nous encourageant, nous orientant et en nous soutenant, ainsi qu'à sa patience envers nous tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Nous le remercions également pour ses conseils et sa confiance qu'il nous a constamment témoigné et qui ont été pour nous très motivants.

Nous tenons à remercier **Mme Rouidi Sonia (M.C.A, Université du 20 Août 1955, Skikda)**, de nous avoir accordé l'honneur de présider le jury.

Nos gratitude vont également à **Mme Boudries Amel (M.C.B, Université du 20 Août 1955, Skikda)**, pour avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce modeste travail.

Nous souhaitons exprimer nos plus sincères remerciements à l'équipe de la conservation des forêts de la wilaya de Skikda sans exception, pour leur suivi au quotidien, pour leurs disponibilités et leurs conseils constructifs.

Nous remercions aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Enfin, On tient à exprimer aussi toute notre reconnaissance et notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidé et ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Nous espérons que ce travail leur témoignera toute notre estime à leurs égards.

**Merci.**

## *Dédicace*

*Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.*

*Je dédie mon travail :*

*À mon très cher père BRAHIM, Grâce à toi, j'ai appris l'importance du travail et de la responsabilité. Merci pour ton amour, ta générosité, et ta compréhension. Ton soutien a été ma lumière tout au long de mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de tes sacrifices pour mon éducation et ma formation.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, ma raison de vivre et mon espoir dans la vie, ma mère AICHA, merci pour ton amour éternel, ton affection, tes sacrifices, encouragements, soutien et prières tout au long de ma vie ;*

*A mes deux frères HOUSSEM et AMIR, Votre présence dans ma vie est une bénédiction inestimable. Vos encouragements, votre soutien et votre amour m'ont permis de traverser les hauts et les bas avec confiance. Merci d'être les piliers sur lesquels je peux toujours compter ;*

*A ma grande sœur AMANI, ta présence est un phare dans ma vie, illuminant mes jours les plus sombres. Merci d'être ma confidente, ma complice et ma meilleure amie. Avec toi, chaque instant est un empreint de bonheur et de réconfort. Sans oublier son mari SOFIANE, merci pour le soutien et l'encouragement ;*

*A TOUTE MA FAMILLE*

*Votre soutien et vos encouragements sont inestimables. Je vous dédie ce travail pour témoigner de l'amour et de la gentillesse que vous m'offrez chaque jour. Particulièrement mes cousines ZINEB et TASNIM merci d'être toujours là pour moi ;*

*À la mémoire de ma grand-mère FATMA, mon oncle BRAHIM, et mes grands-parents MOHAMMED et HADDA du côté paternel, Allah yarhamhoum. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect et mon amour éternel pour mes chers disparus durant mon cycle de Master. Que leur âme repose en paix.*

*A mes chères amies KHADIJA, RAYANE, AYA, NOUR EL HOUDA, RIHEM, NARDJESS, MANEL, YASMINE et KIFAH, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de notre amitié et des souvenirs partagés.*

*A la plus belle coïncidence de la vie, la meilleure compagnie, les meilleurs collègues et amies :  
SABRINE, FATIMA et NEDJLA, Merci d'avoir facilité ce parcours ;*

*A la personne qui m'a toujours aidé, qui m'accompagnait durant mon chemin d'étude supérieure ma chère amie : KABOUIA Rayane, aussi LECHHEB Mohamed pour ces conseils précieux.*

*A mon Quadrinôme : SABRINE, RYHEM, KHEIR EDDINE. Ensemble, nous surmontons les obstacles et écrivons notre histoire de succès. Merci d'être une équipe si solide et si soudée.*

## *Dédicace*

*Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout puissant. Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :*

*À mon très cher père " AZZEDINE " qui a toujours été proche de moi, m'a soutenu, m'a encouragé et m'a orienté par ses précieux conseils. Puisse ce travail prouver le sacrifice constant que vous avez fait pour mon éducation et mon instruction. Je souhaite que votre bénédiction soit toujours avec moi. Que Dieu, le Très-Haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

*À ma chère mère " NANI ", source de tendresse, de noblesse et d'affection, qui a joué un très grand rôle dans la réalisation de ce mémoire. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour votre sacrifice pour mon éducation et mon bonheur. Je vous remercie pour le soutien et l'amour que vous m'avez donné.*

*À ma douce et belle petite sœur " INES ", que j'aime de tout mon cœur et au-delà. Ta présence dans ma vie est une bénédiction que je chéris chaque jour. Tes sourires illuminent mes journées, et ton amour inconditionnel m'inspire à être meilleur.*

*A mes frères " ZINE EDDINE " et mon petit chou " MOHAMED " pour leurs encouragements et leur soutien ;*

*À mes grands-parents maternels, "Messaouda Bakhi" et "Omar Sid", ainsi qu'à mes grands-parents paternels, "Nafissa Merzoug" et "Houcine Laâla", que leur souvenirs soit éternel. Leur amour, leur sagesse et leur soutien ont été des piliers dans ma vie, même après leur départ. Leur fille les aime profondément, ce mémoire est un témoignage de l'héritage précieux qu'ils ont laissé, une inspiration perpétuelle qui guide mes pas. Qu'ils reposent en paix je n'oublierai jamais l'amour qu'ils m'ont donné.*

*A mon futur mari " BILEL " Pour ton amour inébranlable et ton soutien constant. Ton encouragement m'a donné la force de surmonter chaque défi et d'atteindre cet objectif. Merci d'avoir été ma source d'inspiration et de motivation. Ce mémoire est dédié à toi, avec toute ma reconnaissance et mon amour éternel.*

*À toutes mes chères amies qui m'encouragent toujours, et en particulier "ASMA", " DOUAA " et "FATIMA"*

*À "SOULEF", Ce mémoire est dédié à toi, qui es restée à mes côtés durant ces 5 années d'amitié fidèle. Merci pour ton soutien constant et précieux, et pour tous les moments inoubliables que nous avons partagés.*

*À la promotion de 2<sup>ème</sup> année Master protection des écosystèmes 2023/2024*

*À mon quadrinôme "ASMA " ; "RYHEM" ; "KHEIR EDDINE" pour leur soutien moral, leur patience et leur compréhension tout au long de ce travail.*



*Laâla SABRINE ♥*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail de recherches avec amour et fierté à ceux qui m'ont donné la vie et se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite dans mes études.*

*A mon défunt papa adoré pour honorer sa mémoire et qu'il soit fier de sa fille dans l'autre monde. Qu'il repose en paix, priant Dieu le tout puissant de lui accorder sa miséricorde et l'accueillir son vaste paradis.*

*A mon ange maman que j'aime énormément et que je remercie pour toute la tendresse et l'affection manifestée à mon égard en m'apportant son indéfectible soutien moral et matériel pour que je puisse atteindre mes objectifs tant attendus avec toute sa bénédiction.*

*A mes grands-parents maternels qui m'ont élevée et donné une affection, une parfaite éducation et tout leur soutien et réconfort voulus avec un grand amour.*

*A mes très chères tantes Sissi et Samah pour leur assistance morale et matérielle, amour ainsi que mes oncles Hichem, Lyes, Mohamed et Salah.*

*A mes sœurs Hadil et Hanine, bien que j'en sois l'ainée ; elles m'ont soutenue et épaulée pour ma réussite, ainsi qu'à mes cousins et cousines adorés pour leur soutien durant mon cursus universitaire.*

*A mon amie et confidente Sabrina qui m'a toujours encouragée et souhaité le succès.*

*A mes professeurs Mme Neghra Nadjat, Mme Bouderies Amel, Mme Rouidi Sonia et Mme, qui n'ont pas hésité un moment à me transmettre leur savoir avec abnégation, objectivité et dévouement que je remercie énormément.*

*A mon quadrinôme Asma, Sabrina et Kheir Eddine, pour leurs aides et supports dans les moments difficiles, la réalisation de ce modeste travail n'aurait été possible sans eux.*

*Taleb RYHEM.*

## *Dédicace*

*Ce mémoire représente l'aboutissement d'un long parcours académique et personnel, jalonné de défis, de découvertes et de progrès. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ce voyage.*

*À mon père, Tahare, pour son soutien indéfectible et ses précieux conseils qui m'ont guidé tout au long de ce parcours. Ta foi en mes capacités a toujours été une source d'inspiration.*

*À ma mère, Fatiha, pour son amour inconditionnel, sa patience et sa force. Ton soutien constant et tes encouragements ont été essentiels à chaque étape de ce voyage.*

*À mes frères, Rabah et Noureddine, pour leur complicité et leur soutien sans faille. Vos encouragements et votre présence ont été des moteurs précieux dans cette aventure.*

*À ma sœur, Aya, pour sa gentillesse et sa compréhension. Ton écoute et tes mots réconfortants ont été une source de réconfort inestimable.*

*À mes amis, pour leur amitié sincère, leurs conseils avisés et leur soutien indéfectible. Vous avez partagé avec moi les moments de joie et de doute, et pour cela, je vous en suis profondément reconnaissant.*

*À mon quadrinôme, Asma, Sabrine et Ryhem, pour leur soutien moral, leur patience et leur compréhension tout au long de ce travail. Votre collaboration et votre amitié ont été inestimables dans la réalisation de ce mémoire.*

*Ce mémoire est le résultat de votre amour, de votre soutien et de votre confiance. Du fond du cœur, merci.*

*Tibahine KHEIR-EDDINE.*

# Résumés

## **Résumé**

Les incendies de forêt représentent une menace sérieuse pour les écosystèmes naturels et les communautés humaines à travers le monde. Cette étude a été réalisée dans la partie nord du massif de Collo–Skikda, qui vise à évaluer le risque d'incendie de forêt en utilisant les techniques du Système d'Information Géographique (SIG) et la télédétection.

L'élaboration de la carte des zones à risque d'incendie (IR) repose principalement sur le traitement et l'analyse des cartes topographiques, des données satellitaires et des données vectorielles. Les données satellitaires comprennent les images Sentinel-2 utilisées pour calculer l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), ainsi que des images de Google Earth et un modèle numérique du terrain (MNT) pour obtenir des cartes détaillées des caractéristiques topographiques. Les données vectorielles incluent les vecteurs de végétation, de bâtis et de réseau routier, fournissant ainsi une représentation abstraite du monde réel.

En appliquant l'approche méthodologique mise en place par Dargone (1993), basée sur les trois principaux indices : de combustibilité (IC), de topomorphologie (IM) et d'occupation humaine (IH), il a été possible de déterminer les zones à haut risque et celles moins vulnérables. Les résultats indiquent que les zones à forte densité végétale, à topographie accidentée et à présence humaine sont les plus vulnérables aux incendies.

La superposition des cartes des indices sus-cités, met en évidence l'indice de risque d'incendie (IR), représentant des surfaces très propices au déclenchement des incendies de forêts, couvrant 54% de la superficie totale de la zone d'étude.

Un géotraitement a été réalisé par intersection de la carte de risque d'incendie avec celle de la végétation, permettant d'obtenir des résultats statistiques sur la répartition des peuplements forestiers en fonction du niveau de risque.

Cette étude fournit des informations essentielles pour la gestion proactive de risque d'incendie de forêt, permettant aux autorités locales de planifier des interventions ciblées et d'optimiser les ressources de lutte contre les incendies.

**Mots-clés :** SIG, Télédétection, Risque d'incendie (IR), Modèle Numérique de Terrain (MNT), Indice de végétation(NDVI)

## Summary

Forest fires pose a serious threat to natural ecosystems and human communities worldwide. This study was conducted in the northern part of the Collo–Skikda massif, aiming to assess forest fire risk using Geographic Information System (GIS) techniques and remote sensing.

The development of the forest fire risk map (IR) is primarily based on the processing and analysis of topographic maps, satellite data, and vector data. Satellite data includes Sentinel-2 images used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), along with Google Earth imagery and a Digital Terrain Model (DTM) to obtain detailed maps of topographic features. Vector data encompasses vegetation, built-up areas, and road network vectors, providing an abstract representation of the real world.

Applying the methodological approach established by Dargone (1993), focusing on the three main indices: combustibility (IC), topomorphology (IM), and human occupation (IH), helped identify high-risk and less vulnerable areas. Results indicate that areas with dense vegetation, rugged topography, and human presence are most susceptible to fires.

Overlaying these indices highlights the forest fire risk index (IR), covering 54% of the total study area, indicating areas highly conducive to forest fire ignition.

Geoprocessing involved intersecting the fire risk map with vegetation maps to obtain statistical insights into forest population distribution based on risk levels.

This study provides essential information for proactive forest fire risk management, enabling local authorities to plan targeted interventions and optimize firefighting resources.

**Keywords:** GIS, Remote Sensing, Forest Fire Risk (IR), Digital Terrain Model (DTM), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

## ملخص

الحرائق الغابية تمثل تهديداً خطيراً للنظم البيئية الطبيعية والمجتمعات البشرية في جميع أنحاء العالم. أُجريت هذه الدراسة في الجزء الشمالي من المنطقة الغابية القل-سكيكدة، بهدف تقييم مخاطر الحرائق الغابية باستخدام تقنيات نظام المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

تتمحور عملية إعداد خريطة مناطق الخطر من الحرائق الغابية بشكل أساسي حول معالجة وتحليل الخرائط الطبوغرافية، والبيانات الفضائية، والبيانات الناقلة. تشمل البيانات الفضائية صوراً Sentinel-2 تستخدم لحساب مؤشر النباتات بالفرق المعياري، بالإضافة إلى صور Earth Google ونموذج رقمي للأرض للحصول على خرائط مفصلة للخصائص الطبوغرافية. أما البيانات الناقلة فتشمل الناقلات للنباتات، والمباني، وشبكة الطرق، مما يوفر تمثيلاً مجرداً للعالم الحقيقي.

من خلال تطبيق النهج المنهجي الذي وضعه دارجون (1993)، والمعتمد على ثلاثة مؤشرات رئيسية: قابلية الاحتراق، والطوبومورفولوجيا، والاحتلال البشري، تمكنا من تحديد المناطق ذات المخاطر العالية والمنخفضة. تشير النتائج إلى أن المناطق ذات الكثافة النباتية العالية، والطبوغرافية الوعرة، ووجود الإنسان هي الأكثر عرضة للحرائق.

يبرز تقاطع الخرائط للمؤشرات المذكورة أعلاه: مؤشر خطر الحريق، الذي يبين أكثر الأماكن المعرضة لاندلاع حرائق الغابات، والذي يغطي 54% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

تم تنفيذ معالجة جغرافية بتقاطع خريطة خطر الحريق مع خريطة النباتات، مما أدى إلى الحصول على نتائج إحصائية حول توزيع المجموعات الغابية بناءً على مستوى الخطر.

توفر هذه الدراسة معلومات أساسية لإدارة نشطة لمخاطر الحرائق الغابية، مما يتيح للسلطات المحلية تخطيط تدخلات مستهدفة وتحسين موارد مكافحة الحرائق.

**الكلمات المفتاحية:** نظام المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، مؤشر خطر الحريق، نموذج رقمي للأرض، مؤشر النباتات بالفرق المعياري.

**Liste des Abréviations**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ArcGIS</b> | <b>A</b> eronautical <b>R</b> econnnaissance <b>C</b> overage <b>G</b> eographic <b>I</b> nformation <b>S</b> ystem |
| <b>BTP</b>    | <b>B</b> âtiment et <b>T</b> ravaux <b>P</b> ublics   |
| <b>BV</b>     | <b>B</b> io <b>V</b> olume  |
| <b>DGF</b>    | <b>D</b> irection <b>G</b> énérale des <b>F</b> orêts   |
| <b>ESRI</b>   | <b>E</b> nvironnemental <b>S</b> ystem <b>R</b> esearch <b>I</b> nstitute   |
| <b>IC</b>     | <b>I</b> ndice de <b>C</b> ombustibilité  |
| <b>ID</b>     | <b>I</b> ndice de présence humaine  |
| <b>IH</b>     | <b>I</b> ndice d'occupation <b>H</b> umaine   |
| <b>IM</b>     | <b>I</b> ndice topomorphologique  |
| <b>IR</b>     | <b>R</b> isque <b>I</b> ncendie   |
| <b>IV</b>     | <b>I</b> ndice de <b>V</b> oisinage   |
| <b>GPS</b>    | <b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem   |
| <b>MNT</b>    | <b>M</b> odel <b>N</b> umérique du <b>T</b> errain  |
| <b>NDVI</b>   | <b>N</b> ormalized <b>D</b> ifference <b>V</b> egetation <b>I</b> ndex  |
| <b>PC</b>     | <b>P</b> ersonal <b>C</b> omputer   |
| <b>PIR</b>    | <b>P</b> roche <b>I</b> nfra- <b>R</b> ouge   |
| <b>PPRIF</b>  | <b>P</b> lan de <b>P</b> révention des <b>R</b> isques d' <b>I</b> ncendies de <b>F</b> orêts                       |
| <b>SIG</b>    | <b>S</b> ystème d' <b>I</b> nformation <b>G</b> éographique   |
| <b>TPF</b>    | <b>T</b> ranchées <b>P</b> are- <b>F</b> eu   |
| <b>UTM</b>    | <b>U</b> niversal <b>T</b> ransverse <b>M</b> ercator   |
| <b>WGS</b>    | <b>W</b> orld <b>G</b> eodetic <b>S</b> ystem   |

**Liste des figures**

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>Figure n° 01</b> | Feu de surface.   | <b>05</b> |
| <b>Figure n° 02</b> | Feux de cimes.  | <b>05</b> |
| <b>Figure n° 03</b> | Production de braises par fort vent.  | <b>06</b> |
| <b>Figure n° 04</b> | Triangle du feu.  | <b>06</b> |
| <b>Figure n° 05</b> | Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu (Arfa, 2008).            | <b>10</b> |
| <b>Figure n° 06</b> | Courbes de température en fonction de l'exposition des pentes (Arfa, 2008).     | <b>10</b> |
| <b>Figure n° 07</b> | Evolution annuelle des superficies parcourues par les incendies (Mihi, 2012).   | <b>14</b> |
| <b>Figure n° 08</b> | Situation géographique des communes de la partie nord du massif de Collo.       | <b>16</b> |
| <b>Figure n° 09</b> | Le satellite sentinel-2.  | <b>20</b> |
| <b>Figure n° 10</b> | Organigramme de l'approche méthodologique.                                      | <b>24</b> |
| <b>Figure n° 11</b> | La procédure de géoréférencement  | <b>25</b> |
| <b>Figure n° 12</b> | La procédure du Mosaïquage  | <b>26</b> |
| <b>Figure n° 13</b> | La procédure de Mosaïquage de deux modèles numérique de terrain.                | <b>26</b> |
| <b>Figure n° 14</b> | La procédure du découpage Raster  | <b>27</b> |
| <b>Figure n° 15</b> | La procédure de découpage de la zone d'étude.                                   | <b>28</b> |
| <b>Figure n° 16</b> | La procédure de la vectorisation  | <b>28</b> |
| <b>Figure n° 17</b> | Le modèle numérique du terrain de la partie nord du massif de Collo.            | <b>30</b> |
| <b>Figure n° 18</b> | L'image satellitaire de la partie nord du massif de Collo.                      | <b>31</b> |
| <b>Figure n° 19</b> | Carte de végétation.  | <b>32</b> |
| <b>Figure n° 20</b> | Carte de l'indice de végétation NDVI.   | <b>35</b> |
| <b>Figure n° 21</b> | Carte de l'indice de combustibilité de la partie nord du massif de Collo.       | <b>36</b> |
| <b>Figure n° 22</b> | Carte de classes des pentes de la partie nord du massif de Collo                | <b>38</b> |
| <b>Figure n° 23</b> | Carte des expositions de la partie nord du massif de Collo                      | <b>39</b> |
| <b>Figure n° 24</b> | Carte de la topomorphologie de la partie nord du massif de Collo.               | <b>41</b> |
| <b>Figure n° 25</b> | Carte de l'indice de topomorphologie (IM) de la partie nord du massif de Collo. | <b>42</b> |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>Figure n° 26</b> | Carte de l'indice de l'occupation humaine de la partie nord du massif de Collo                     | <b>45</b> |
| <b>Figure n° 27</b> | Carte de l'indice du risque incendie de forêts de la partie nord du massif de Collo.               | <b>46</b> |
| <b>Figure n° 28</b> | La répartition de risque incendie en fonction des Maquis à bruyère et myrte.                       | <b>50</b> |
| <b>Figure n° 29</b> | La répartition de risque incendie en fonction de chêne liège.                                      | <b>51</b> |
| <b>Figure n° 30</b> | La répartition de risque incendie en fonction de pin maritime et Maquis à oléo-lentisque et myrte. | <b>52</b> |
| <b>Figure n° 31</b> | La répartition de risque incendie en fonction des Ripisylves                                       | <b>52</b> |

**Liste des tableaux**

|                      |  |           |
|----------------------|--|-----------|
| <b>Tableau n° 01</b> | Caractéristiques de satellite sentinel-2.  | <b>20</b> |
| <b>Tableau n° 02</b> | Répartition des superficies des peuplements forestiers dans la partie nord du massif de Collo. | <b>33</b> |
| <b>Tableau n° 03</b> | Notes de combustibilité des espèces forestières méditerranéennes. <b>(Cemagref, 1989).</b>     | <b>34</b> |
| <b>Tableau n° 04</b> | Répartition des superficies et codification des classes de l'indice de combustibilité (IC)     | <b>37</b> |
| <b>Tableau n° 05</b> | Répartitions des superficies et codification des classes de pentes.                            | <b>38</b> |
| <b>Tableau n° 06</b> | Classes des expositions et classification des orientations.                                    | <b>39</b> |
| <b>Tableau n° 07</b> | Classification de la topomorphologie et la répartition des superficies.                        | <b>41</b> |
| <b>Tableau n° 08</b> | Répartition des superficies et codification des classes de l'indice de topomorphologie (IM)    | <b>43</b> |
| <b>Tableau n° 09</b> | Classification de la proximité de réseau routier.  | <b>44</b> |
| <b>Tableau n° 10</b> | Classification de la proximité des bâties.   | <b>44</b> |
| <b>Tableau n° 11</b> | Répartition des superficies des classes de risque IR   | <b>47</b> |
| <b>Tableau n° 12</b> | Répartition des peuplements forestiers en fonction de signification du risque incendie.        | <b>49</b> |

**Liste des cartes**

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| <b>Carte n° 01</b> | Situation géographique des communes de la partie nord du massif de Collo.            | <b>16</b> |
| <b>Carte n° 02</b> | Le modèle numérique du terrain de la partie nord du massif de Collo.                 | <b>30</b> |
| <b>Carte n° 03</b> | L'image satellitaire de la partie nord du massif de Collo.                           | <b>31</b> |
| <b>Carte n° 04</b> | Carte de végétation de la partie nord du massif de Collo.                            | <b>32</b> |
| <b>Carte n° 05</b> | Carte de l'indice de végétation NDVI de la partie nord du massif de Collo.           | <b>35</b> |
| <b>Carte n° 06</b> | Carte de l'indice de combustibilité de la partie nord du massif de Collo.            | <b>36</b> |
| <b>Carte n° 07</b> | Carte de classes des pentes de la partie nord du massif de Collo                     | <b>38</b> |
| <b>Carte n° 08</b> | Carte des expositions de la partie nord du massif de Collo                           | <b>39</b> |
| <b>Carte n° 09</b> | Carte de la topomorphologie de la partie nord du massif de Collo.                    | <b>41</b> |
| <b>Carte n° 10</b> | Carte de l'indice de topomorphologie (IM) de la partie nord du massif de Collo       | <b>42</b> |
| <b>Carte n° 11</b> | Carte de l'indice de l'occupation humaine de la partie nord du massif de Collo       | <b>45</b> |
| <b>Carte n° 12</b> | Carte de l'indice du risque incendie de forêts de la partie nord du massif de Collo. | <b>46</b> |

Résumés.

Liste des abréviations.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des cartes.

## Sommaire

|   |            |
|---|------------|
| <b>Introduction</b>                               | <b>P01</b> |
| <b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>      |            |
| 1. Définition de l'incendie de forêt              | <b>P04</b> |
| 2. Différents types des feux                      | <b>P04</b> |
| 2.1. Feux de sol                                  | <b>P04</b> |
| 2.2. Feux de surface                              | <b>P05</b> |
| 2.3. Feux de cime                                 | <b>P05</b> |
| 2.3. Feux avec braises                            | <b>P06</b> |
| 3. Comportement de feux de forêts                 | <b>P06</b> |
| 3.1. Ecllosion des feux de forêts                 | <b>P06</b> |
| 3.2. Propagation                                  | <b>P07</b> |
| 4. Facteurs des incendies de forêt                | <b>P08</b> |
| 4.1. La formation de la végétation                | <b>P08</b> |
| 4.1.1. Etages de la végétation                    | <b>P08</b> |
| 4.2. Conditions climatiques                       | <b>P08</b> |
| 4.2.1. Température                                | <b>P08</b> |
| 4.2.2. Précipitations                             | <b>P09</b> |
| 4.2.3. Humidité relative                          | <b>P09</b> |
| 4.2.4. Vent                                       | <b>P09</b> |
| 4.3. Conditions topographique                     | <b>P10</b> |
| 4.3.1. Inclinaison des pentes                     | <b>P10</b> |
| 4.3.2. Exposition des pentes au soleil et au vent | <b>P10</b> |
| 4.3.3. Elévation du terrain                       | <b>P11</b> |
| 4.4. Facteurs anthropiques                        | <b>P11</b> |
| 5. Causes des incendies de forêts                 | <b>P11</b> |
| 5.1. Causes humaines                              | <b>P11</b> |
| 5.2. Causes naturelles                            | <b>P12</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 6. Impacts des incendies de forêts                  | <b>P12</b> |
| 6.1. Sur le milieu naturel                          | <b>P12</b> |
| 6.2. Sur les écosystèmes forestiers                 | <b>P12</b> |
| 6.3. Sur la régénération des peuplements            | <b>P13</b> |
| 6.4. Sur le sol                                     | <b>P13</b> |
| 6.5. Sur l'économie                                 | <b>P13</b> |
| 7. Situation générale des feux de forêts en Algérie | <b>P14</b> |

## **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

|  |            |
|--|------------|
| 1. Présentation de la zone d'étude : la partie nord de Collo   | <b>P16</b> |
| 1.1. Situation géographique                                    | <b>P16</b> |
| 1.2. Situation administrative                                  | <b>P17</b> |
| 1.3. Caractéristiques du milieu d'étude                        | <b>P17</b> |
| 1.3.1. Le climat   | <b>P17</b> |
| 1.3.2. La végétation   | <b>P17</b> |
| 2. Objectif de l'étude   | <b>P18</b> |
| 3. Matériels utilisés  | <b>P18</b> |
| 3.1. Les appareils   | <b>P18</b> |
| 3.1.1. Un PC   | <b>P18</b> |
| 3.2. Les logiciels   | <b>P18</b> |
| 3.2.1. Google Earth  | <b>P18</b> |
| 3.2.2. Logiciel ArcGIS 10.4                                    | <b>P18</b> |
| 4. Méthodologie de travail                                     | <b>P19</b> |
| 4.1. Acquisition de données utilisées                          | <b>P19</b> |
| 4.1.1. Cartes  | <b>P19</b> |
| 4.1.2. Les données satellitaires                               | <b>P19</b> |
| 4.1.2.1. Les images satellitaires Sentinel-2                   | <b>P19</b> |
| 4.1.2.2. Le MNT (Modèle Numérique du Terrain)                  | <b>P20</b> |
| 4.1.3. Les données vectorielles en très haute résolution (THR) | <b>P21</b> |
| 4.2. Le modèle de calcul de l'indice de risque d'incendie (IR) | <b>P21</b> |
| 4.2.1. L'indice de combustibilité (IC)                         | <b>P22</b> |
| 4.2.2. L'indice topomorphologique (IM)                         | <b>P23</b> |
| 4.2.3. L'indice d'occupation humaine (IH)                      | <b>P23</b> |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 5. Prétraitements        | <b>P24</b> |
| 5.1. Le géoréférencement | <b>P25</b> |
| 5.2. Le Mosaïquage       | <b>P26</b> |
| 5.3. Le découpage        | <b>P27</b> |
| 5.3.1. Le clip vecteur   | <b>P27</b> |
| 5.3.2. Le clip raster    | <b>P27</b> |
| 5.4. La vectorisation    | <b>P28</b> |

### **Chapitre III : Résultats et Discussions**

|  |            |
|--|------------|
| 1. Résultats du prétraitement des données  | <b>P30</b> |
| 1.1. Le modèle numérique du terrain (MNT)  | <b>P30</b> |
| 1.2. L'image satellitaire Sentinel-2   | <b>P30</b> |
| 2. La modélisation du risque incendie (IR)   | <b>P31</b> |
| 2.1. L'indice de de combustibilité (IC)  | <b>P31</b> |
| 2.1.1. Carte de végétation de la partie nord de Collo  | <b>P31</b> |
| 2.1.2. Carte de l'indice de végétation NDVI  | <b>P35</b> |
| 2.1.3. Carte de l'indice de combustibilité (IC)  | <b>P36</b> |
| 2.2. L'indice topomorphologie (IM)   | <b>P37</b> |
| 2.2.1. Carte des pentes  | <b>P37</b> |
| 2.2.2. Carte des expositions   | <b>P39</b> |
| 2.2.3. Carte topomorphologique   | <b>P40</b> |
| 2.2.4. Carte de l'indice topomorphologique (IM)  | <b>P42</b> |
| 2.3. L'indice de l'occupation humaine (IH)   | <b>P43</b> |
| 2.3.1. Carte de proximité de bâtie et de réseau routier  | <b>P43</b> |
| 2.3.2. Carte de l'indice d'occupation humaine (IH)   | <b>P44</b> |
| 2.4. L'indice du risque incendie de forêts (IR)  | <b>P46</b> |
| 3. L'analyse cartographique de la répartition des peuplements forestiers en fonction du Risque incendie (IR) | <b>P49</b> |
| 3.1. Représentation graphique du risque en fonction des peuplements  | <b>P50</b> |
| 3.1.1. Risque très fort  | <b>P50</b> |
| 3.1.2. Risque moyen  | <b>P51</b> |
| 3.1.3. Risque faible   | <b>P52</b> |
| <b>Conclusion</b>  | <b>P55</b> |

### **Références bibliographiques**

# **Introduction**

### Introduction

La forêt est longtemps considérée comme les poumons avec lequel la terre respire. Elle est un pilier indispensable sur lequel la nature se repose tant qu'elle dispose de plusieurs fonctions bénéfiques à la terre, à l'homme, à la faune, à la flore et en bref à l'existence **(FAO, 1996)**.

Parmi les facteurs qui menacent les forêts dans le monde méditerranéen, le feu est le plus redoutable par les pertes et les conséquences qu'il entraîne, aussi bien sur l'environnement que sur l'économie du pays. Il a été reconnu, depuis longtemps, comme le plus spectaculaire et le plus grave facteur par son intensité et sa brutalité, par l'ampleur des surfaces parcourues dans le moindre temps et par l'importance des dommages causés **(Boudy, 1952)**.

En forêt méditerranéenne, les conditions de prédispositions aux incendies ne sont pas constantes dans le temps. Elles évoluent, par exemple, en fonction de l'état de la végétation qui est le résultat à la fois de sa dynamique naturelle, de la sylviculture qui est appliquée et des passages éventuels du feu **(Jappiot et al, 2002)**.

L'importance de la gestion des incendies augmente à mesure que les forêts, les terres boisées et les herbages subissent des pressions croissantes pour les produits et les loisirs qu'ils offrent. Cette richesse naturelle dont l'équilibre fragile qui une fois rompu, demande d'énormes moyens pour son rétablissement. La forêt algérienne, actuellement fragile, a besoin d'être protégée car la déforestation ne cesse de s'accroître en raison des incendies de forêts répétés **(Arfa, 2008)**.

Les méthodes classiques utilisées en Algérie pour prévenir et combattre les incendies prennent du temps et ne sont pas toujours fiables, en raison de la complexité et de la diversité des écosystèmes forestiers. En revanche, des recherches basées sur des techniques modernes d'observation et d'analyse spatiale, comme la télédétection et le Système d'Information Géographique (SIG), ont prouvé leur efficacité et leur rapidité. Ces techniques permettent de créer des cartes d'évaluation du risque d'incendies en zone forestière grâce à l'analyse thématique des causes des incendies.

Pour contribuer à l'introduction du Système d'Informations Géographique (SIG) à la prévention et la lutte contre les incendies, nous avons réalisé une étude cartographique du risque d'incendie de la partie nord du massif de Collo (wilaya de Skikda). Les cartes issues de cette étude constitueront un outil utile pour les services forestiers en les aidants à mieux cibler les parcelles forestières les plus vulnérables aux risques du feu.

Par conséquent, le plan de travail est structuré comme suit :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique, où nous présentons des généralités sur les incendies de forêts et la situation des feux des forêts en Algérie.
- Le deuxième chapitre présente notre zone d'étude, le matériel utilisé et la méthodologie suivie pour réaliser cette étude, le processus de création et d'élaboration des cartes.
- Le troisième chapitre illustre les résultats obtenus y compris les cartes et les statistiques.

# **Chapitre I :**

# **Synthèse Bibliographique**

## 1. Définition de l'incendie de forêt

Plusieurs définitions ont été proposées pour définir l'incendie de forêt et parmi elles, celle de **(Trabaud, 1992)**, qui définit l'incendie comme : « une combustion qui se développe sans contrôle dans l'espace et dans le temps. L'incendie de forêt s'alimente de tous les combustibles possibles et ainsi se propage jusqu'à l'épuisement de ceux-ci. »

On parle d'incendie de forêt lorsqu'un feu a menacé un massif de plus d'un hectare. Généralement la période la plus propice au feu de forêt est l'été, car aux effets conjugués de la sécheresse, l'augmentation des températures, et la faible teneur en eau des sols, viennent s'ajouter les travaux en forêt **(Perriez et al, 2003)**.

## 2. Différents types des feux

Il y a quatre (04) types de feu. Ils peuvent se produire simultanément sur une même zone, un feu de forêt peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (principalement la force et la direction du vent) dans lesquelles il se développe **(Collin et al, 2001)**.

### 2.1. Feux de sol

Les feux de sol qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Ce sont des feux à incandescence, ce qui fait qu'ils se propagent à une vitesse faible en raison du manque d'oxygène et de la transmission de la chaleur par conduction. Bien que peu virulents, ils peuvent être très destructeurs en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux. Ils peuvent également couvrir longtemps en profondeur ce qui rend plus difficile leur extinction complète. Ils sont relativement rares en région méditerranéenne **(Collin et al, 2001)**.

## 2.2. Feux de surface

Les feux de surface sont les plus courants, ils brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent rapidement en général par rayonnement ou convection. Ils dégagent beaucoup de flammes et de chaleur en affectant la garrigue ou les landes. Ils peuvent être aussi une cause d'enflammer la cime des arbres en montant de branche en branche (**Collin et al, 2001**).



Figure n °01. Feu de surface.

## 2.3. Feux de cime

Ils brûlent la partie supérieure des arbres (Ligneux hauts) et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler quand le vent est fort et le combustible est sec (**Megrouche, 2006**).



Figure n °02. Feux de cimes.

## 2.4. Feux avec braises

Les incendies peuvent se produire avec braises. Les braises sont produites par des feux de cimes ou par certaines conditions de vent et de topographie (Collin et al, 2001).

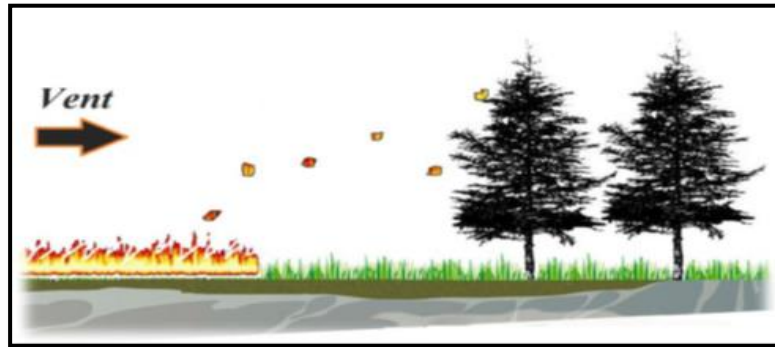


Figure n °03. Production de braises par fort vent.

## 3. Comportement des feux de forêts

### 3.1. Ecllosion des feux de forêts

Selon le type de combustible, les conditions environnantes et le type de facteur à l'origine du déclenchement (naturel ou humain), l'écllosion d'un feu peut être très soudaine ou couvrir plusieurs jours. L'inflammabilité des végétaux est leur propriété à s'enflammer lorsqu'ils sont exposés à une source de chaleur. Elle varie fortement en fonction de la période de l'année, des conditions climatiques, de l'état de la végétation et de l'intervention humaine. Pour qu'il y ait inflammation et combustion, trois facteurs doivent être réunis, chacun en proportion convenable : un combustible, une source externe de chaleur et de l'oxygène nécessaire pour alimenter le feu : cela s'appelle triangle de feu (Meddour, 2014).



Figure n °04. Triangle du feu.

Dans le triangle du feu, la végétation forestière constitue le combustible. Par sa composition et sa structure par sa teneur en eau, elle exigera une température plus ou moins élevée pour s'enflammer, par sa densité et sa répartition sur le terrain (**Chartrand, 1972**). Un comburant est le corps qui provoque et entretient la combustion du combustible. Le plus souvent, le comburant est constitué par l'oxygène présent dans l'air ambiant. La réaction de combustion est alors une oxydation (**Carbannel, 2004**). L'inflammation est parfois le fait d'un phénomène naturel, foudre, inflammation spontanée. Elle est plus généralement le fait de l'homme.

### **3.2. Propagation**

Selon (**Carbannel, 2004**), quels qu'en soient les facteurs, la propagation d'un incendie se décompose en quatre (04) étapes, la chaleur générée par un incendie va être transportée vers l'avant des flammes selon trois processus :

- La conduction : permet la transmission de proche en proche de l'énergie cinétique (produite par le mouvement) ;
- Le rayonnement thermique : correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies ;
- La convection : liée aux mouvements d'air chaud voit son importance augmenter avec le vent et la pente.

Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu) (**Carbannel, 2004**).

## 4. Facteurs des incendies de forêt

Le déclenchement, la propagation et l'intensité des feux de forêts sont liées au type de la formation végétale, aux conditions climatique, topographique et aux facteurs anthropiques (Faleh et al, 2012).

### 4.1. La formation de la végétation

Certaines formations végétales, comme les landes, le maquis et la garrigue, sont plus sujettes que d'autres au feu. Cette prédisposition s'explique par leur différence de composition (principalement la teneur en eau), mais aussi par les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises (Alessio, 2004).

#### 4.1.1. Etages de la végétation

- Litière : très inflammable, elle est à l'origine d'un grand nombre de départs de feux, difficiles à détecter car elle se consume lentement ;
- Strate herbacée : d'une grande inflammabilité, le vent peut y propager le feu sur de grandes superficies ;
- Strate des ligneux bas (maquis, garrigue) : d'inflammabilité moyenne, elle transmet rapidement le feu aux strates supérieures ;
- Strate des ligneux hauts : rarement à l'origine d'un feu, elle permet cependant la propagation des flammes lorsqu'elle est atteinte ; ce sont les feux de cimes.

### 4.2. Conditions climatiques

#### 4.2.1. Température

La principale source de chaleur est le soleil, les combustibles exposés au soleil se réchauffent plus rapidement que ceux sous couvert forestier, il peut y avoir jusqu'à 10°C de différence. La Température peut avoir une influence directe ou indirecte (Arfa, 2008).

- Influence directe par le réchauffement ou le refroidissement des matériaux.
- Influence indirecte par la modification du contenu en humidité de l'atmosphère.

### 4.2.2. Précipitations

L'effet des précipitations sur les incendies de forêt dépend de la lame d'eau précipitée et de sa répartition dans le temps. En effet une faible tranche pluviométrique répartie dans le temps présente un meilleur effet qu'une grande quantité de pluie précipitée en un laps de temps (**Bekdouche, 2010**).

### 4.2.3. Humidité relative

C'est le rapport de la pression observée de la vapeur d'eau à la pression maximale compatible avec la température de l'air. Elle n'agit pas directement sur le phénomène d'apparition des Feux, mais elle joue un rôle très important sur la teneur en eau des végétaux combustibles. Le risque de danger d'incendie n'est pas toujours le résultat d'une faible humidité relative de l'air mais fréquemment quand l'humidité relative est élevée les vents sont faibles (**Trabaud, 1970**).

### 4.2.4. Vent

Le vent est sûrement le facteur atmosphérique le plus affectant d'un incendie de forêt. Ses effets sont très variés selon trois facteurs : la vitesse, la circulation et l'orientation. Si la circulation est continue, l'évaporation de l'humidité des combustibles est accélérée et ceci augmentera les risques de prendre le feu. De plus, le vent alimente le feu en oxygène puisque ce dernier est un élément indispensable à la combustion. L'air se renouvelle en même temps que se produit la combustion mais de façon plus ou moins rapide. Le vent transporte même à distance des étincelles et des corps enflammés, accélérant ainsi la propagation de l'incendie (sautes de feu).

Si la vitesse du vent est accélérée, la vitesse de propagation du feu est accélérée à son tour. Si le vent souffle fort, la colonne de convection peut être déviée et agit sur les combustibles placés en avant du feu en les desséchant et les chauffant. Par son orientation, le vent peut être à l'origine de la direction générale du feu (**Frederic, 1992**).

- Vitesse du vent : accélération du dessèchement des combustibles, fléchissement de la colonne de convection, transport de matières enflammées en avant de l'incendie (sautes de feu), accélération de la propagation de l'incendie.
- Direction du vent : vent dirigeant l'incendie vers des zones à propagation illimitée (boisement d'un seul tenant) (**Meddour et al, 2010**).

### 4.3. Conditions topographiques

La topographie joue un rôle primordial dans le comportement des feux des forêts influençant par l'inclinaison des pentes, l'exposition des pentes au soleil et au vent et enfin l'élévation du terrain.

#### 4.3.1. Inclinaison des pentes

Le pourcentage de la pente influence directement le comportement des incendies de forêt puisqu'il amplifie l'effet de radiation et de convection (Arfa, 2008).

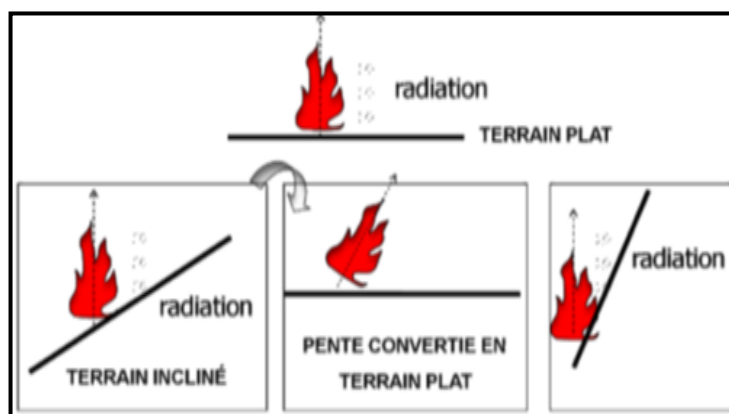


Figure n °05. Effet mécanique de la pente sur le comportement du feu (Arfa, 2008).

#### 4.3.2. Exposition des pentes au soleil et au vent

L'exposition de la pente affecte :

- La quantité de chaleur reçue par les combustibles en fonction de l'insolation ;
- Les vents locaux ;
- La quantité et le type de combustible (Arfa, 2008).

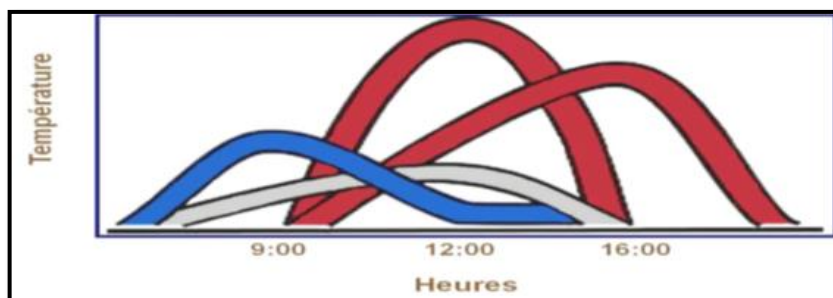


Figure n °06. Courbes de température en fonction de l'exposition des pentes (Arfa, 2008).

### 4.3.3. Elévation du terrain

L'élévation du terrain au-dessus du niveau de la mer affecte le comportement des incendies de forêt en modifiant la météo et la végétation. Modification de la météorologie avec l'altitude à savoir ; La température baisse, l'humidité relative et la vitesse du vent augmentent ainsi que la variation des types végétations en fonction de l'altitude (Arfa, 2008).

### 4.4. Facteurs anthropiques

Selon la FAO 2008, la pression anthropique est le principal facteur de feux de forêt dans le bassin méditerranéen, au moins 95 % des incendies sont provoqués par l'homme. Les actions humaines les plus fréquentes de feux de forêts sont : l'extraction de produits forestiers non ligneux. Le défrichage dû aux activités agricoles, les incendies criminels, la négligence, la chasse, la malveillance (conflit d'occupation du sol, pyromanie...) et les loisirs. Le feu peut également être provoqué par des infrastructures (ligne de transport d'énergie, dépôt d'ordure, ligne de chemin de fer, etc) (FAO, 2008).

## 5. Causes des incendies de forêts

### 5.1. Causes humaines

L'activité humaine est à l'origine de 90% des incendies de forêt :

- L'activité économique : (les activités agricoles, les chantiers de BTP (bâtiments et travaux publics) , les lignes électriques, les routes etc... ) ;
- L'activité du quotidien (les mégots de cigarettes, les barbecues ou les feux de camp, l'équipement mécanique, la combustion de déchets.

Elles peuvent être classées en causes involontaires et volontaires dont la répartition dépend étroitement du contexte social, économique, politique et législatif de chaque pays (Colin et al, 2001).

- Causes involontaires : constituent la principale cause d'incendies de forêt dans la plupart des pays du Bassin Méditerranéen.
- Les imprudences : résultent de négligences par rapport aux risques d'incendie et sont liées à la fréquentation des forêts ou de leurs abords immédiats.

## 5.2. Causes naturelles

À l'inverse, 10 % des feux de forêt sont d'origine naturelle provoqués par la foudre, une éruption volcanique ou des conditions météorologiques extrêmes (la sécheresse, les vagues de chaleur et la force du vent) (Tebani, 2023).

## 6. Impacts des incendies de forêts

### 6.1. Sur le milieu naturel

Selon (Colin et al, 2001), le passage d'un incendie de forêt perturbe le milieu naturel à plusieurs échelles :

- Le sol peut être touché plus ou moins profondément avec apparition de risques d'érosion et destruction de la faune qu'il abrite ;
- Les arbres constituant le peuplement forestier peuvent être atteints au niveau du feuillage, des troncs ou des racines ce qui les rend ainsi sensibles aux attaques parasitaires ;
- L'intensité et la fréquence du feu influent sur la dynamique de reconstitution de la végétation ;
- Le feu a un impact souvent durable sur le paysage ;
- Les pertes économiques dues au feu sur le milieu naturel sont difficiles à estimer.

### 6.2. Sur les écosystèmes forestiers

Le passage d'un feu se traduit par l'altération plus ou moins poussée d'organes vitaux du végétal, au niveau du feuillage, du tronc et des racines. Il en découle une perte de vigueur de l'arbre pouvant entraîner sa mort. Le degré d'altération est fonction de la combinaison des dégâts sur les différentes parties de l'arbre (feuillage, tronc, racines), résultant de la nature (feu de surface, feu de cime) et de l'intensité du feu, ainsi que de la sensibilité au feu de l'espèce. Un feu rapide provoque beaucoup moins de dommages qu'un feu lent (Trabaud, 1992). Ainsi le risque phytosanitaire, où l'altération des organes vitaux entraîne l'affaiblissement de l'arbre qui est beaucoup plus sensible aux attaques parasitaires ou fongiques. Les peuplements brûlés peuvent alors devenir des foyers potentiels de contagion de la végétation voisine (Colin et al, 2001).

### 6.3. Sur la régénération des peuplements

La survie des communautés végétales est variable selon les espèces concernées et l'intensité du feu. Un état des lieux est souhaitable pour estimer les chances d'une reprise naturelle de la végétation (rejet de souche des feuillus, production des semences pour les résineux) et pour envisager après un diagnostic de site, une diversification de l'occupation du sol.

### 6.4. Sur le sol

Le feu altère les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol par la chaleur qu'il dégage, le déplacement et la transformation des éléments nutritifs qu'il entraîne et par la réduction de la couverture morte qu'il produit (**Robitaille, 1995**). Un incendie ne cause généralement pas d'altération majeure des propriétés physiques du sol. S'il est intense et entraîne une exposition du sol minéral et en réduit la matière organique, il peut affecter la température, la texture, la structure, la densité et l'humidité du sol (**Feller, 1996**).

### 6.5. Sur l'économie

Les différents éléments qui constituent le coût d'un incendie sont :

- Les coûts directs : lutte contre le feu, équipements détruits (habitations, infrastructures, véhicules), forêts détruites ;
- Les coûts indirects : perte des usages, restauration de la végétation et des paysages, incidence sur l'économie du tourisme et des loisirs.

Il est très difficile d'évaluer les pertes économiques dues à un incendie en raison de la difficulté d'appréhender les coûts indirects.

## 7. Situation générale des feux de forêts en Algérie

Dans le contexte du bassin méditerranéen, l'Algérie est l'un des pays où le problème des incendies de forêts, n'est pas assez étudié par la communauté scientifique, se pose avec acuité par son impact dévastateur : si en valeur absolue les superficies restent, relativement modestes au regard d'autres pays du pourtour méditerranéen, la rareté des forêts et menaces de désertification font que ces incendies ont un impact particulièrement désastreux. L'Algérie ne possède en effet que 4,1 millions d'hectares de forêt, soit un taux de boisement de 1,76%. Or la fréquence rapprochée des incendies qui se suivent avec un intervalle de retour de moins de 10 ans a un impact catastrophique sur le plan écologique.

En Algérie comme ailleurs, un nombre réduit de feux de forêt provoque la destruction de surfaces importantes et participe à une très large part du bilan des surfaces parcourues (Meddour et al, 2013). Le risque d'incendie de forêt constitue avec les risques de sécheresse et désertification un problème crucial qui touche plusieurs régions d'Algérie mais sans grand impact sur la société d'où la nécessité d'un important travail de sensibilisation auprès du public sur ces risques (Belkaid, 2016).

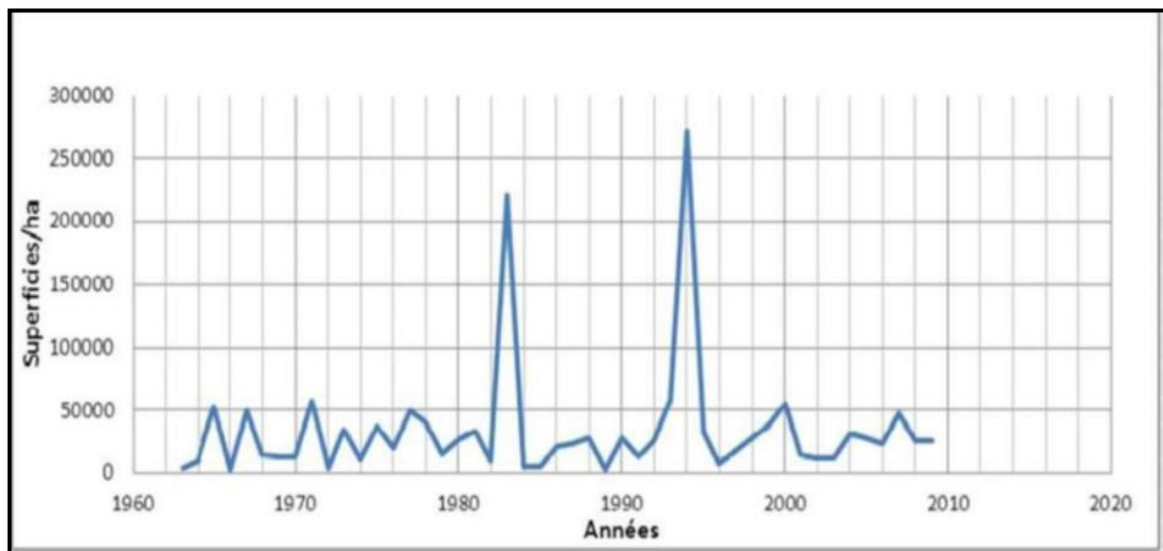


Figure n °07. Evolution annuelle des superficies parcourues par les incendies (Mihi, 2012).

# **Chapitre II :**

## **Matériels & Méthodes**

## 1. Présentation de la zone d'étude : la partie nord du massif de Collo

### 1.1. Situation géographique

La région de Collo est localisée dans la partie Nord-Est du territoire Algérien. Comprise entre les latitudes 36.61° et 37.06° Nord et les Longitudes 6.28° et 6.73° Est, avec une superficie de 66509,64 Ha. Elle est limitée à l'Est par Sidi Mezghiche, Bouchtata, El Harrouch et Ain Zouit, à l'Ouest par la Wilaya de Jijel, au Nord par la mer méditerranée et au Sud par les wilayas de Constantine et Mila (Figure n°08).

Cet important massif forestier est une zone très montagneuse et une vaste chaîne côtière de l'Atlas Tellien (DGF, 1975). La région fait partie de la chaîne de montagnes de l'Atlas Tellien qui s'étend du Nord-Ouest de la Tunisie au Nord-Est du Maroc en passant principalement par le Nord de l'Algérie.

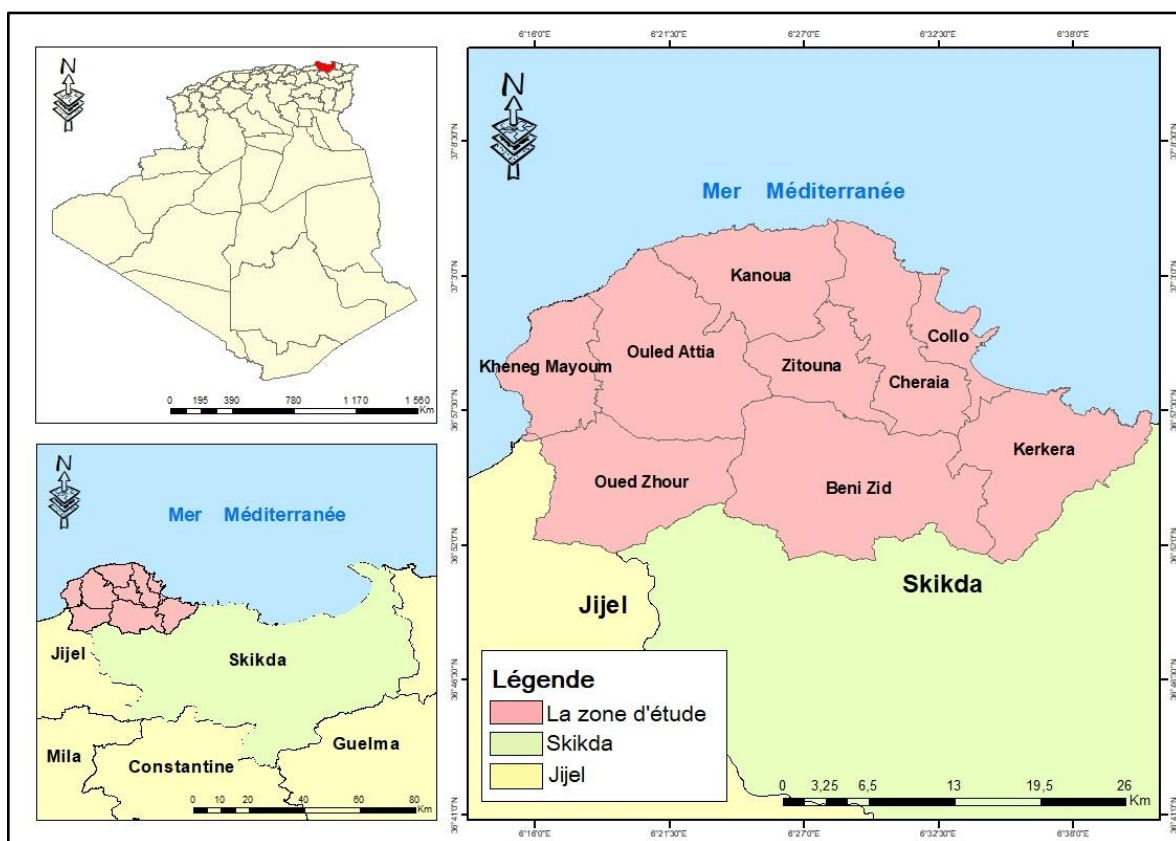


Figure n°08 : Situation géographique des communes de la partie nord du massif de Collo.

## 1.2. Situation administrative

La partie nord du massif de Collo fait partie de la wilaya de Skikda elle est située environ à 75 Km à l'extrême Ouest du chef-lieu. Ce massif s'étend sur les Daira : de Collo, de Tamalous, de Oum Toub, de Sidi Mezghiche, de Ouled Attia, de Zitouna, at Ain kechra.

Il s'étend sur neuf (09) communes en nord : Collo, Cheraia, Kanoua, Beni zid, Kerker, Khnenak Mayoune, Zitouna, Oued Zhour et Ouled Attia.

## 1.3. Caractéristiques du milieu d'étude

### 1.3.1. Le climat

Le climat est de type méditerranéen humide. Les pluies de saison fraîche atteignent un total moyen annuel supérieur à 1000 mm sur les bas versants et environ 1800 mm au-dessus de 500 - 600 m (le djebel Gouffi à proximité de Siouane une des stations d'étude à l'Ouest de Collo). Les températures moyennes annuelles sont d'environ 18°C avec des minima moyens de 10°C et des maxima moyens de 26°C.

### 1.3.2. La végétation

Ces moyennes montagnes sous climat humide et chaud, sont recouvertes par d'importantes subéraies. Le chêne-liège (*Quercus suber*) domine le paysage mais est parfois dégradé par l'intervention humaine, remplacé par un matorral dense dans les endroits les plus reculés du massif. Sa forte présence à Kanoua et Khenak Mayoune fait de lui une importante ressource pour le développement économique de la région. Dans certaines localités, le chêne liège cohabite avec le chêne zen (*Quercus canariensis*) comme c'est le cas dans la localité de Oued Zhour et de Siouane. La végétation est de deux (02) types :

- Forestière en association avec le chêne-liège (sous-bois haut en serré formé de bruyère, arbousier, philaires, cytises, genets, cistes, Myrte).
- Herbacée spontanée et cultivée (céréales et fourragères).

## 2. L'objectif de l'étude

Dans cette étude on va réaliser une carte de risque d'incendie de forêts dans la wilaya de Skikda principalement la partie nord du massif de Collo par l'application des techniques de la géomatique depuis le traitement des images satellitaires jusqu'au système d'information géographique.

Pour mener notre étude nous avons définies une approche ayant pour objectif de :

- Créer une base de données multi-sources liée par le phénomène d'incendie de forêts ;
- L'intégration de ces derniers dans un système d'information géographique ;
- L'établissement d'une carte de risque de feux de forêts.

## 3. Matériel utilisée

### 3.1. Les appareils

#### 3.1.1. Un micro-ordinateur (PC)

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé un ordinateur doté d'un processeur : Intel Processor 0.80 à 1.00GHz, de 4 Go de Ram, 80 GB de disque dur avec un système d'exploitation Windows 10 (64 bits).

### 3.2. Les logiciels

#### 3.2.1. Google Earth

Google Earth est un site web de cartographie qui offre une représentation visuelle précisée de la surface de la terre entière en utilisant les images satellitaires, photographies aériennes, et des données SIG. Il est disponible sur le Web en une version gratuite et une autre payante avec des fonctionnalités améliorées (**Karen, 2008**).

#### 3.2.2. Logiciel ArcGIS 10.4

C'est un ensemble de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développé par la société Américaine Esri (Environmental Systems Research Institute), il contient de nombreuses fonctions et outils utilisés pour les traitements des données raster et vectorielles (**Esri, 2009**). Pour cela nous avons utilisé les outils suivants :

- Arc Map : c'est l'interface cartographique du logiciel.

- Arc Catalogue : pour le stockage et la création des fichiers sous forme shapefile.
- Arc Tools box : contient les paramètres et outils pour l'application des différentes opérations utiles au traitement des données.

## 4. Méthodologie de travail

### 4.1. Acquisition de données utilisées

#### 4.1.1. Cartes topographiques

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé une carte topographique du massif de Collo à Skikda, à l'échelle de 1/50 000. Cette carte nous a permis de cartographier les risques d'incendies en représentant les différents éléments naturels et artificiels présents dans notre zone d'étude.

#### 4.1.2. Les données satellitaires

##### 4.1.2.1. Les images Sentinel-2

Parmi les différents types de capteurs qui existent sur le marché des images satellites les images du capteur Sentinel-2 ont été choisies pour les raisons suivantes :

- Une résolution spatiale de 10 m ;
- Une résolution temporelle de 5 jours (avec 2 satellites A et B) ;
- Elles sont disponibles moins de 48h après la date de prise de vue ;
- Elles sont disponibles gratuitement via le site web copernicus hub ;
- Elles sont disponibles au niveau de correction 2A (réflectance au bas de l'atmosphère), idéales pour les activités de recherche car elles permettent une analyse plus poussée sans appliquer de corrections atmosphériques supplémentaires.

Sentinel-2 a été développée et exploitée par l'Agence Spatiale Européenne et les satellites ont été fabriqués par un consortium dirigé par Airbus Defence and Space (Figure n° 08). Il a deux plateformes (Sentinel-2A et 2B). Pour notre étude, nous avons utilisé le niveau de traitement 2A.

Les données des missions Sentinel sont disponibles sur le web à l'adresse suivante :

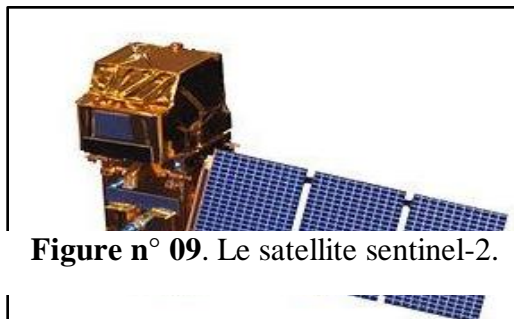
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

Le programme EU COPERNICUS est une source d'informations pour les décideurs, l'industrie, les scientifiques privés et publics. Il a deux composantes : Espace et Services.

Le Open Access Hub est un portail interactif unique pour toutes les données satellitaires Copernicus : user self-registration, requêtes géographiques et Téléchargement (Gaetano, 2018). Les caractéristiques techniques du Sentinel-2 sont présentées dans le tableau n°01.

**Tableau n° 01** : Caractéristiques de satellite sentinel-2.

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Satellites</b>              | 02 vaisseaux en configuration jumelle                                  |
| <b>Programme</b>               | Copernicus   |
| <b>Bandes spectrales</b>       | 13 dans les domaines visible, proche et moyenne infrarouge             |
| <b>Résolutions spatiales</b>   | 10m / 20m / 60m  |
| <b>Orbite</b>                  | Héliosynchrone à 786 km (LTDN 10:30am)                                 |
| <b>Fauchée</b>                 | 290 km   |
| <b>Couverture géographique</b> | Systématique sur surfaces continentales et traits de côte              |
| <b>Répétitivité</b>            | 5 jours à l'équateur (avec 2 satellites et sans considérer les nuages) |
| <b>Durée de vie</b>            | 7.25 ans extensible à 12 ans   |



**Figure n° 09.** Le satellite sentinel-2.

#### 4.1.2.2. Le MNT (Modèle Numérique du Terrain)

C'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire. Intégrée dans le SIG, cette information joue un rôle très important dans les méthodes d'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain (Gilliot, 2000).

Des couches raster ont été extraites d'un modèle numérique du terrain, à partir duquel les facteurs topographiques (pente, exposition et la topomorphologie) ont été élaborés.

#### 4.1.3. Les données vectorielles

Les données vectorielles constituent une représentation abstraite du monde réel, où les informations de position sont exprimées à travers des coordonnées. Dans cette structure, les unités de base des informations spatiales sont les points, les lignes et les polygones. Chacune de ces entités est simplement composée d'une série d'un ou de plusieurs points de coordonnées. Par exemple, une ligne est une collection de points connectés, tandis qu'un polygone est un ensemble de lignes connectées. Ces données jouent un rôle crucial dans la représentation de divers éléments du paysage comme :

- La végétation : Elle est souvent cartographiée à l'aide de données vectorielles en particulier les zones boisées et les espaces verts. Les polygones sont utilisés pour délimiter les contours des zones végétalisées permettant une analyse détaillée de la répartition spatiale de la végétation. Ces informations sont cruciales pour la gestion des ressources naturelles et la préservation de l'environnement.
- Le réseau routier : Les données vectorielles sont largement utilisées pour représenter les infrastructures routières. Les routes sont définies par des lignes reliant différents points, décrivant ainsi le réseau routier d'une région donnée. Ces informations sont essentielles pour la planification urbaine, la gestion des transports et la navigation ;
- Les bâtis : Les données vectorielles sont également utilisées pour modéliser les emplacements et les contours des bâtiments. Chaque bâtiment est représenté par un polygone, délimitant ainsi sa forme et sa taille sur la carte. Cette représentation est précieuse pour la gestion immobilière, l'urbanisme et la planification des zones urbaines ;

#### 4.2. Le modèle de calcul de l'indice de risque d'incendie (IR)

L'approche méthodologique adoptée consiste à l'établissement de la carte de risque incendie fait appel à l'application d'un modèle mis en place par **Duche et Dargone (1993)**, largement utilisé sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne.

Afin d'atteindre l'objectif fixé, le modèle appliqué fait intervenir les trois principaux facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt à savoir : l'indice de topomorphologie, l'indice de combustibilité et l'indice d'activités humaines (**Feleh et al, 2012**).

L'indice de risque d'incendie en question repose sur la formule suivante :

$$\mathbf{IR = 5IC + 2IH + IM}$$

**IR** : Indice de risque de feu de forêt ;

**IC** : Indice de combustibilité (facteur lié au combustible) ;

**IH** : Indice d'occupation humaine (facteur lié à l'activité humaine) ;

**IM** : Indice topomorphologique (facteur lié à la topomorphologie du terrain).

La caractérisation de cet indice est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue des paramètres physiques intervenant dans le modèle choisi.

**IR > 12** : Risque très fort ;

**9 < IR < 12** : Risque fort ;

**6 < IR < 9** : Risque moyen ;

**IR < 6** : Risque faible. (Dargone, 1993).

#### **4.2.1. L'indice de combustibilité (IC)**

Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC), la méthode proposée par Mariel (1995), pour estimer la gravité potentielle d'un feu démarrant dans un peuplement forestier déterminé a été retenue. Cette méthode consiste en la mise au point d'un modèle empirique pour pondérer les termes d'une expression mathématique dont les paramètres proviennent d'une description normalisée de la végétation. Le biovolume de la formation végétale est obtenu par addition des taux de recouvrement des peuplements forestiers, l'indice de végétation de différence normalisé NDVI, établie à partir du satellite Sentinel-2.

On peut traduire le biovolume par la formule suivante  $BV = 50 \text{ NDVI}$  (Arfa, 2019).

L'indice de combustibilité est exprimé par la relation suivante :

$$\mathbf{IC = 39 + 0,23 BV (E1 + E2 - 7,18)}$$

**BV** : représente le biovolume de la formation végétale ;

**E1** : représente la note de combustibilité pour les ligneux hauts les plus dominants ;

**E2** : représente la note de combustibilité pour les ligneux bas les plus dominants ;

#### 4.2.2. L'indice topomorphologique (IM)

Trois (03) paramètres topographiques interviennent dans le modèle : la pente, l'exposition et topomorphologie du relief. Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (MNT) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante :

$$\mathbf{IM = 3p + (m.e)}$$

**p** : La pente ;

**m** : la topomorphologie ;

**e** : L'exposition.

#### 4.2.3. L'indice d'occupation humaine (IH)

La présence de la population et de ses habitations près des forêts constitue l'enjeu dont l'importance détermine le degré de vulnérabilité du milieu. Il s'agit de la protection des vies humaines et des installations. Ainsi le paramètre anthropique est le principal terme dans le modèle de l'indice de l'activité humaine.

L'indice d'occupation humaine sera, alors, exprimé par la combinaison linéaire des deux (02) indices soit :

$$\mathbf{IH = IV + 2ID}$$

**IV** : indice de voisinage ;

**ID** : indice de présence humaine.

Cependant les éclosions d'incendie sont beaucoup plus fréquentes près des routes et des chemins de parcours des forêts.

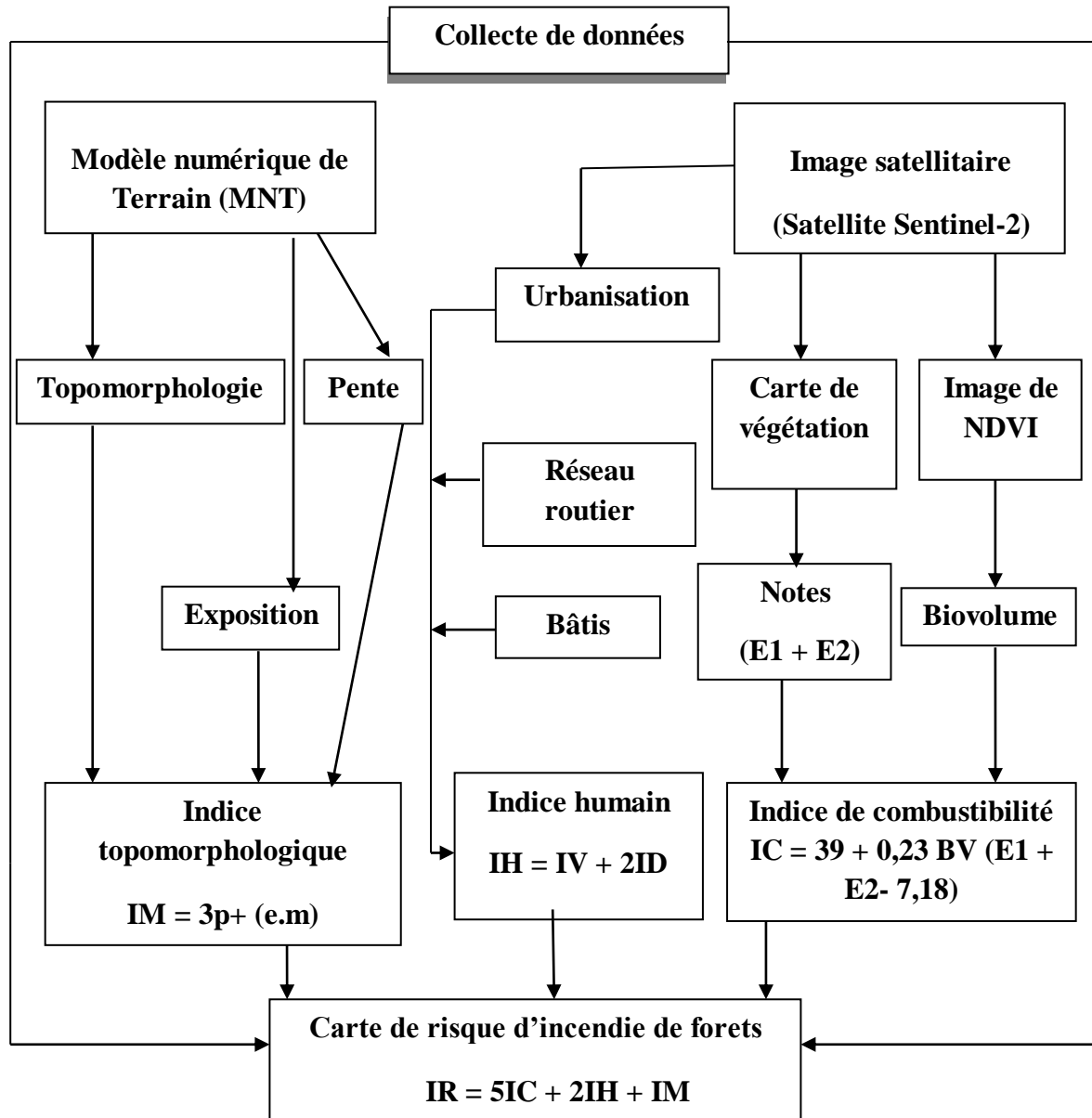


Figure n° 10. Organigramme de l'approche méthodologique.

## 5. Prétraitements

Cette opération permet de préparer les images satellitaires pour l'analyse principale et l'extraction de l'information. Elle se divise en une correction géométrique (Orthorectification) qui permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur et transformer les données en vraies coordonnées géographiques, et une correction radiométrique permettant de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (Nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc...) (Hadjadj, 2010).

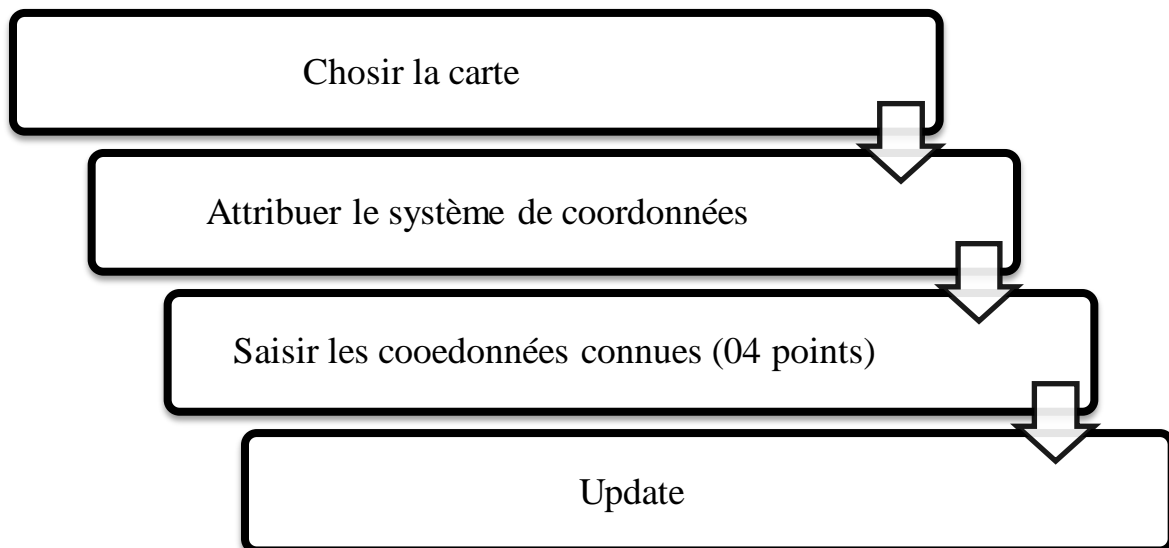
La démarche retenue pour la réalisation des couches d'informations thématiques nécessaires à la création de la carte des risques incendies s'est déroulée en plusieurs étapes successives.

### 5.1. Le géoréférencement

Le géoréférencement est un processus qui consiste à collecter des informations dans un système de coordonnées de telle sorte que les nombreuses couches de données puissent être superposées et donner lieu à une analyse géographique exploitable (**Berger et al, 2005**).

Le géoréférencement de la carte topographique a été établi avec le logiciel ArcGis10.4.

La projection utilisée est : WGS 1948 UTM zone 32 Nord.



**Figure n° 11.** La procédure de géoréférencement.

5.2. Le Mosaïquage

C'est un processus qui combine plusieurs images raster en une seule image continue, ce qui est souvent nécessaire pour la cartographie des risques d'incendies couvrant de vastes zones.

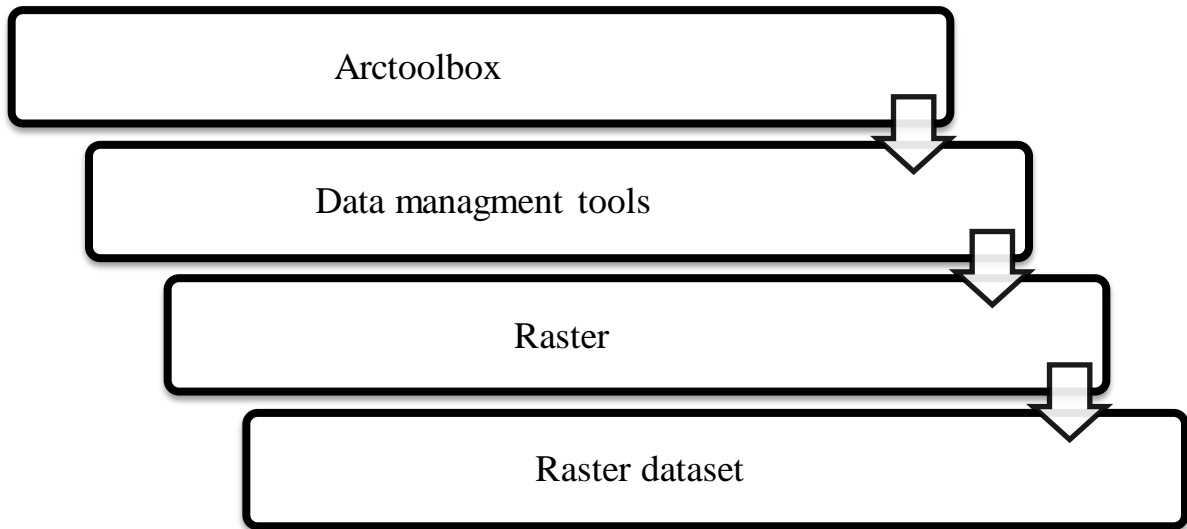


Figure n° 12. La procédure du Mosaïquage.

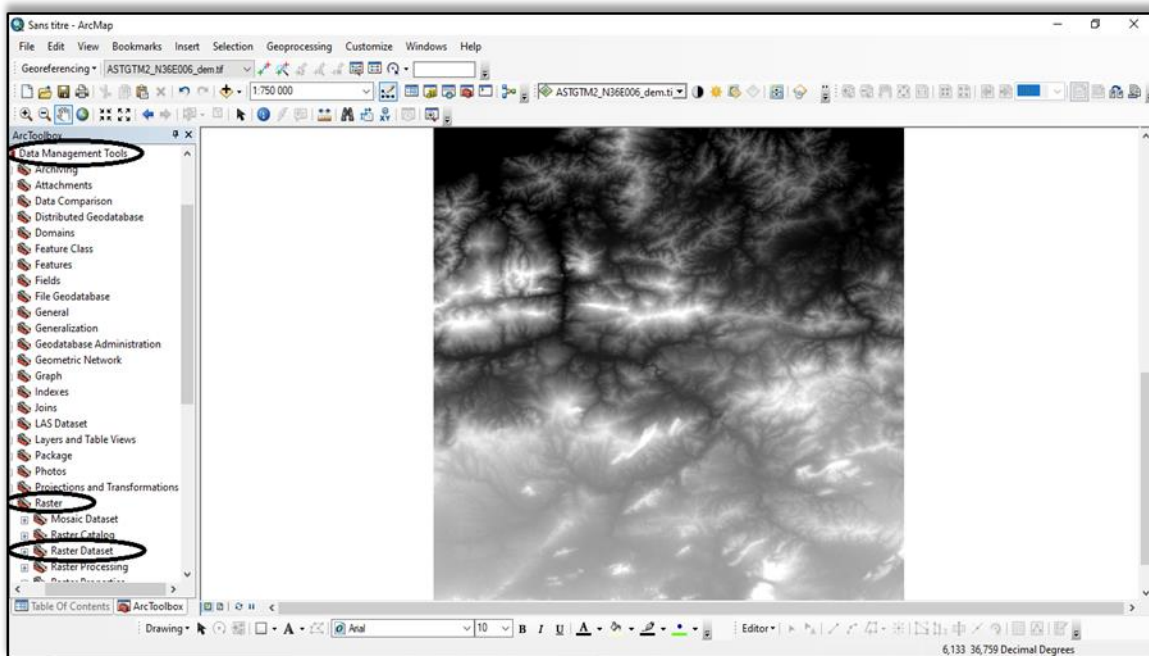


Figure n° 13. La procédure de Mosaïquage de deux modèles numérique de terrain.

### 5.3. Le découpage

Le principe du découpage consiste à extraire une portion spécifique de données géographiques plus larges pour répondre à des besoins spécifiques.

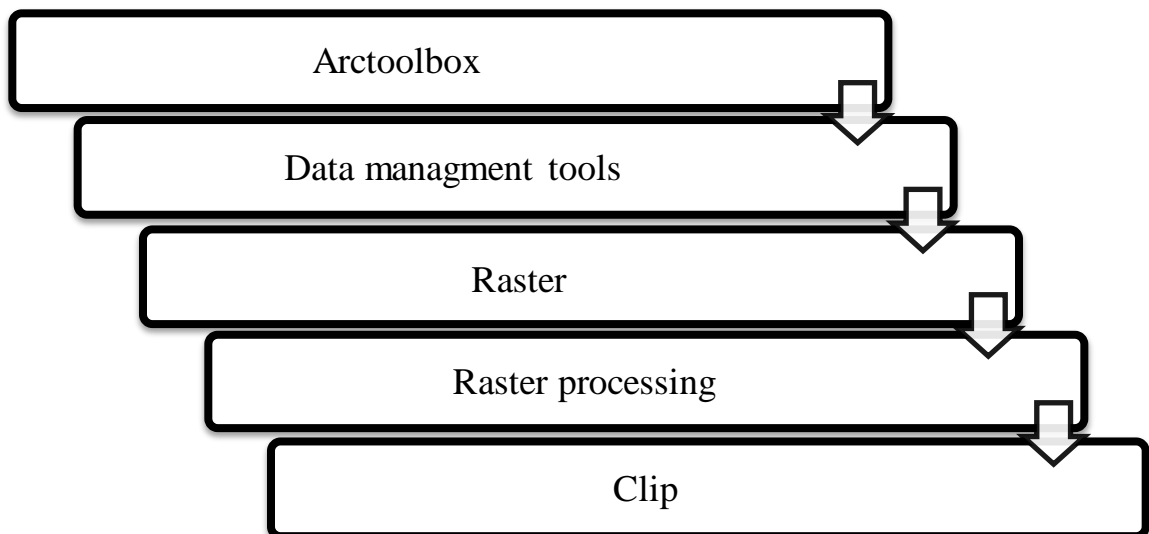
Cela peut être réalisé pour des données vectorielles ou raster en définissant une zone d'intérêt et en conservant uniquement les entités ou cellules de données situées à l'intérieur de cette zone.

#### 5.3.1. Le clip vecteur

C'est une opération dans les systèmes d'information géographique (SIG) qui consiste à découper une couche vectorielle en fonction d'une zone définie par une autre couche vectorielle.

#### 5.3.2. Le clip raster

C'est une opération dans les systèmes d'information géographique (SIG) qui permet de découper une image raster (comme une carte ou une image satellitaire) en utilisant une zone définie par une autre couche vectorielle ou en spécifiant une emprise spatiale.



**Figure n° 14.** La procédure du découpage Raster.

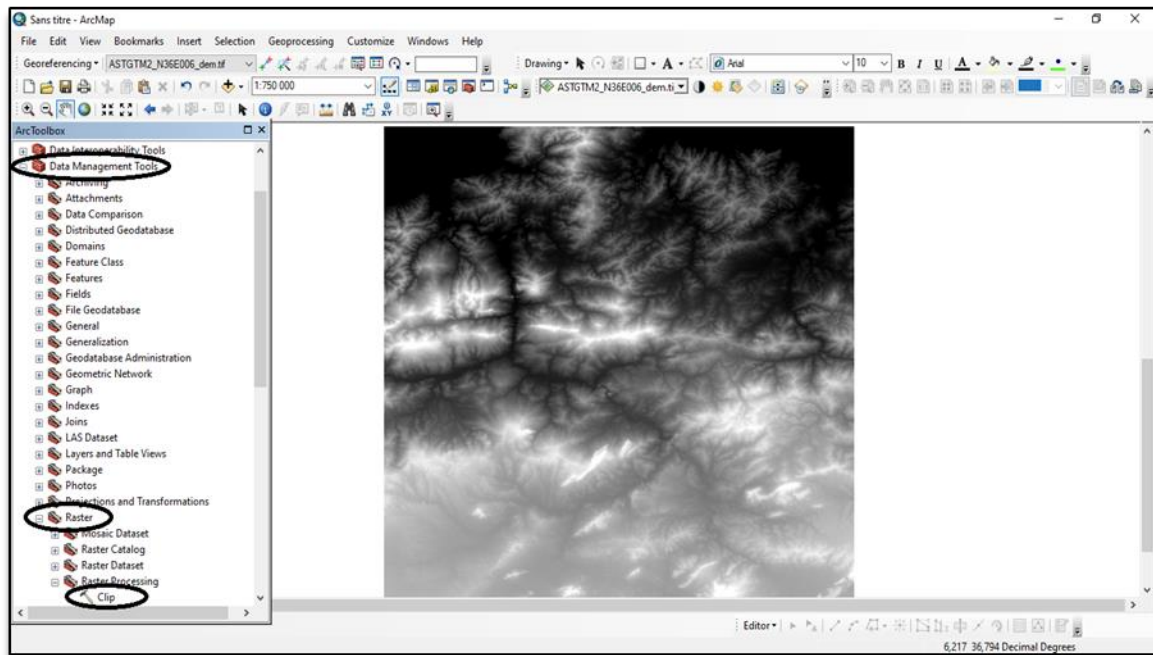


Figure n° 15. La procédure de découpage de la zone d'étude.

#### 5.4. La vectorisation

Cette opération consiste à la conversion de l'information géographique d'image satellitaire de mode Raster en mode Vecteur.

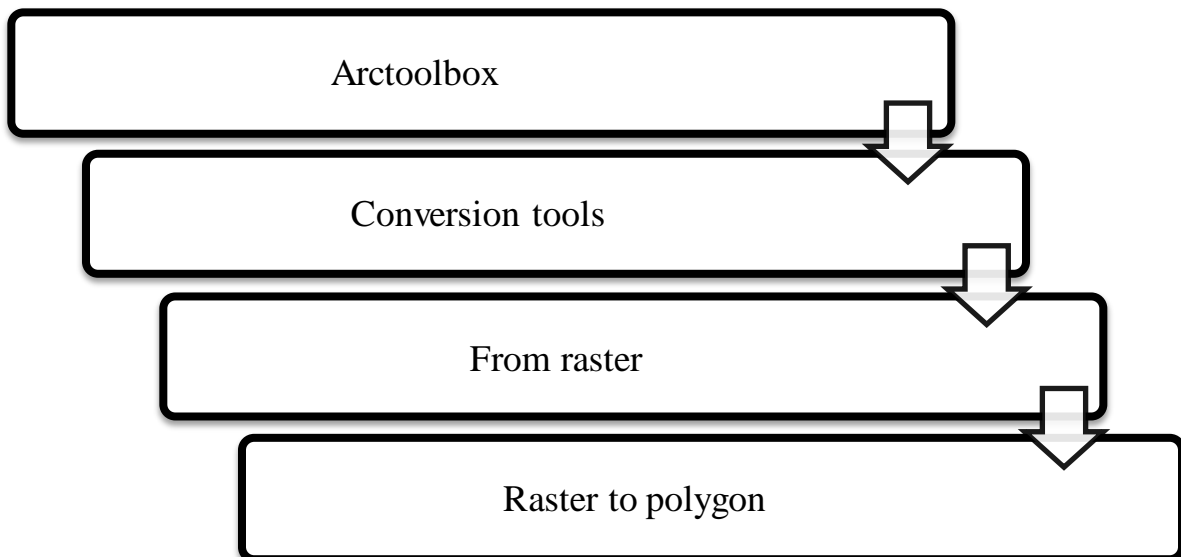


Figure n° 16. La procédure de la vectorisation.

# **Chapitre III :**

## **Résultats & Discussions**

## 1. Résultats de prétraitements des données

### 1.1. Le modèle numérique du terrain (MNT)

Le résultat des prétraitements (Mosaïquage et découpage) effectués, ont donné le modèle numérique du terrain de la partie nord du massif de Collo présenté dans la figure n° 17.

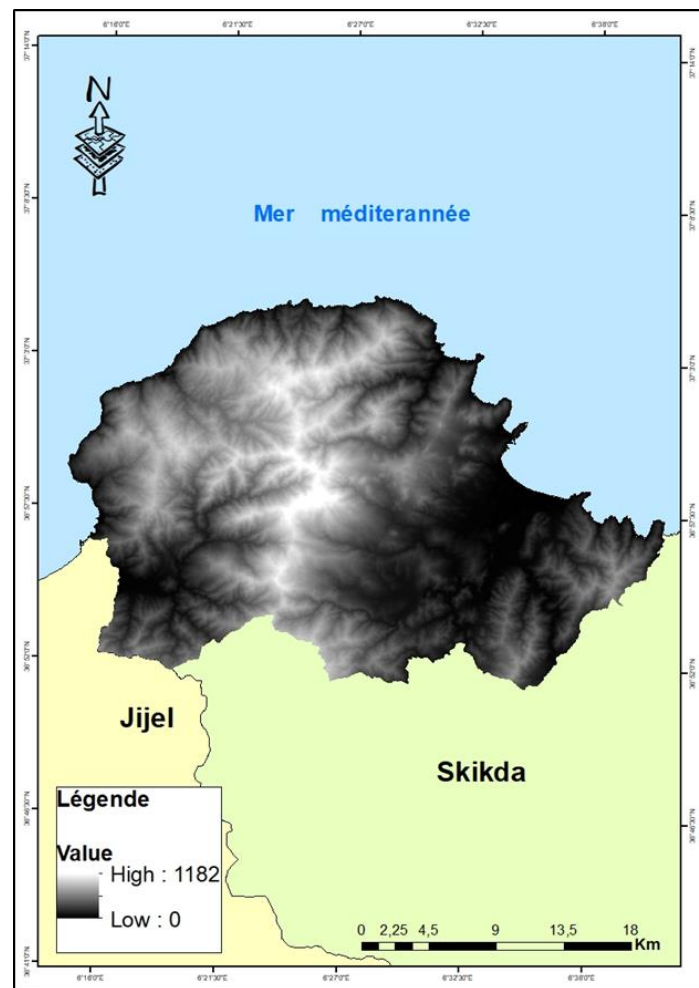


Figure n°17. Le modèle numérique du terrain de la partie nord du massif de Collo.

### 1.2. L'image satellitaire Sentinel-2

Le résultat du prétraitement (découpage) effectué sur l'image satellitaire prise par le satellite Sentinel-2 a donné la carte de la partie nord du massif de Collo présentée dans la figure n° 18.

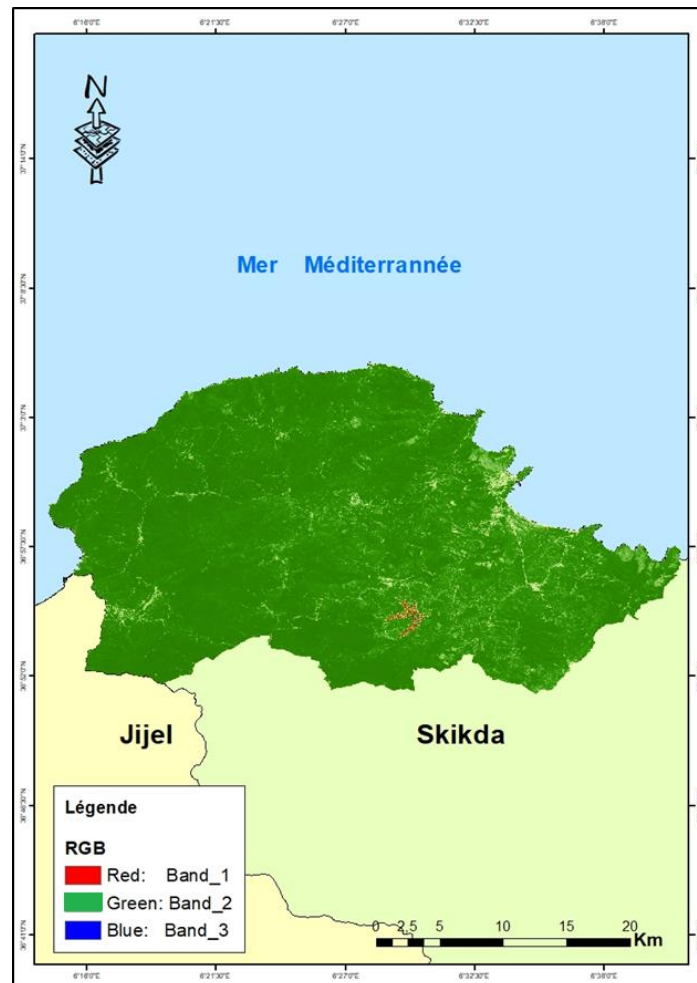


Figure n° 18. L'image satellitaire de la partie nord du massif de Collo.

## 2. La modélisation du risque incendie (IR)

### 2.1. L'indice de combustibilité (IC)

Pour la réalisation de la carte de l'indice de combustibilité (IC), deux (02) cartes ont été utilisées : une carte de végétation, et une carte de l'indice de végétation NDVI.

#### 2.1.1. Carte de végétation

La figure n° 19 représente les peuplements forestiers présentés dans la partie nord du massif de Collo.

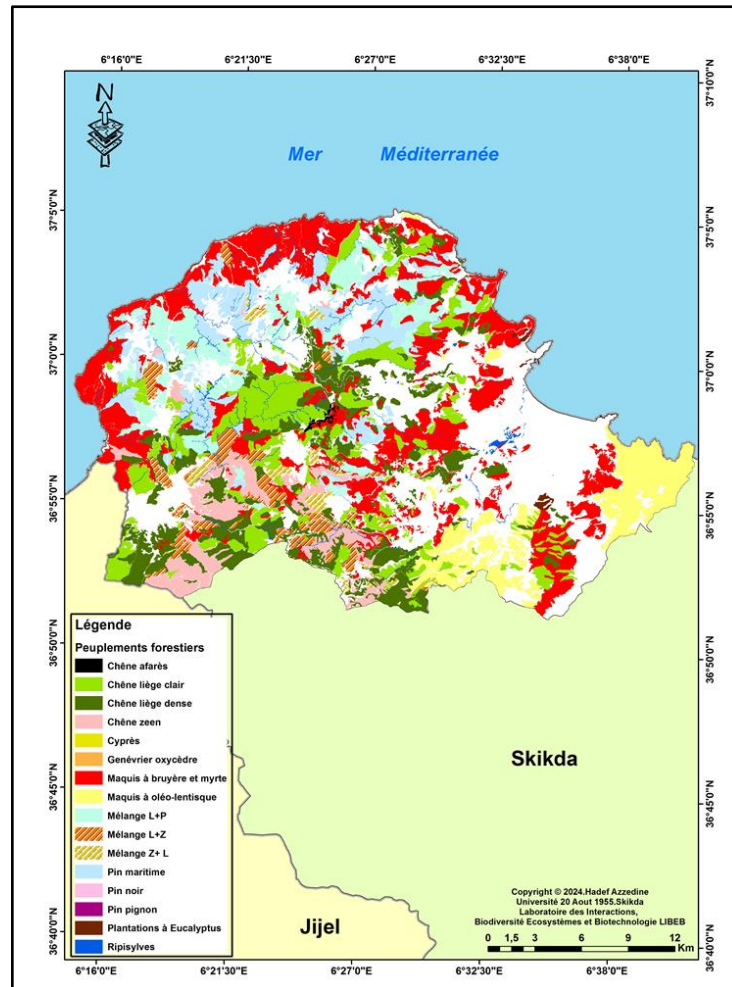


Figure n°19. Carte de végétation de la partie nord du massif de Collo.

La vectorisation des peuplements forestiers pour calculer leurs superficies a permis d’obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 02 :

**Tableau n°02** : Répartition des superficies des peuplements forestiers dans la partie nord de Collo.

| Peuplement                | Superficie en (Ha) | Pourcentage (%) |
|---------------------------|--------------------|-----------------|
| Chêne afarès              | 0,828              | 0,100           |
| Chêne liège clair         | 181,694            | 22,007          |
| Chêne liège dense         | 112,893            | 13,673          |
| Chêne zeen                | 42,652             | 5,166           |
| Cyprès                    | 0,010              | 0,001           |
| Genévrier oxycèdre        | 0,009              | 0,001           |
| Maquis à bruyère et myrte | 227,355            | 27,537          |
| Maquis à oléo-lentisque   | 110,855            | 13,427          |
| Mélange L+P               | 41,646             | 5,044           |
| Mélange L+Z               | 42,235             | 5,115           |
| Mélange Z+ L              | 10,766             | 1,304           |
| Pin maritime              | 44,164             | 5,349           |
| Pin noir                  | 0,031              | 0,003           |
| Pin pignon                | 0,002              | 0,0003          |
| Plantations à Eucalyptus  | 3,021              | 0,365           |
| Ripisylves                | 7,446              | 0,901           |

D'après le tableau n° 02, Le maquis à bruyère et myrte et le Chêne liège clair occupe la plus grande partie de la zone d'étude avec une superficie de 27,53% et 22%. L'analyse du tableau fait ressortir aussi la présence moyenne de peuplements de Chêne liège dense et Maquis à oléo-lentisque autour 13% pour chacune de la superficie. Certains peuplements marquent leur faible présence avec autour de 5% de la superficie et d'autres sont presque quasi inexistantes comme le montre le tableau n° 02.

La carte de végétation utilisée nous permet de définir spatialement la répartition des principales essences forestières qui forment le combustible. Des notes de combustibilité sont attribuées à chaque peuplement. Les notes de combustibilité ou aussi appelées notes d'intensité calorique ont été celles établies par le CEMAGREF. En effet en fonction de la composition et constitution de chaque végétation une note en rapport avec son inflammabilité et son aptitude à s'embraser rapidement lui est attribuée (Tableau n° 03).

**Tableau n° 03** : Notes de combustibilité des espèces forestières méditerranéennes.  
(Cemagref, 1989).

| LIGNEUX HAUT  |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Arbousier<br><i>Arbutus unedo</i> 5                     | Châtaignier<br><i>Castanea sativa</i> 5                | Cèdre<br><i>Cedrus atlantica</i> 6                  | Cyprés<br><i>Cupressus macrocarpa</i> 6            |
| Chêne vert<br><i>Quercus ilex</i> 7                     | Érable<br><i>Acer palmatum</i> 5                       | Epicéa<br><i>Picea abies</i> 6                      | Noisetier<br><i>Corylus avellana</i> 2             |
| Hêtre<br><i>Fagus sylvatica</i> 2                       | Peuplier<br><i>Populus nigra</i> , poplar 2            | Chêne pubescent<br><i>Quercus pubescens</i> 5       | Pin d'Alep<br><i>Pinus halepensis</i> 7            |
| Ome 2   | Pin noir<br><i>Pinus nigra arn</i> 7                   | Douglas<br><i>Pseudotsuga menziesii</i> 6           | Pin pignon<br><i>Pinus pinca</i> 7                 |
| Pin maritime<br><i>Pinus pinaster</i> 7                 | Pin de salzman<br><i>Pinus salzmanni</i> 7             | Frêne<br><i>Fraxinus spp</i> 2                      | Robinier<br><i>Robinia pseudoacacia</i> 2          |
| Pin sylvestre<br><i>Pinus sylvestris</i> 7              | Saule<br><i>Salix alba</i> , willow 2                  | Olivier<br><i>Olea europea</i> 5                    | Sapin<br><i>Epicea</i> 6                           |
| LIGNEUX BAS   |  |   |  |
| Ajonc épineux<br><i>Ulex europaeus</i> 8                | Amélanchier<br><i>Amelanchier laevis</i> 3             | Bruyère arborescente<br><i>Erica arborea</i> 8      | Bruyère multiflore<br><i>Erica multiflora</i> .L 6 |
| Bruyère cendrée<br><i>Erica cinerea</i> L 6             | Bruyère à balais<br><i>Erica scopria</i> 7             | Buis<br><i>Buxus sempervirens</i> 5                 | Canne de provence<br><i>Arundo donax</i> 5         |
| Callune<br><i>Calluna vulgaris</i> 6                    | Ciste blanc<br><i>Cistus albidus</i> 6                 | Ciste à f. de sauge<br><i>Cistus salvifolius</i> 3  | Epine de christ<br><i>Paliurus spina-christi</i> 3 |
| Eglantine<br><i>Rosa canina</i> L 5                     | Genet à balais<br><i>Cytisus scorius</i> L 5           | Genet d'Espagne<br><i>Spartium junceum</i> 5        | Genet purgatif<br><i>Cytisus purgans</i> 7         |
| Genet scorpion<br><i>Genista scorpius</i> 8             | Genévrier commun<br><i>Juniperus communis</i> 7        | Genévrier oxycèdre<br><i>Juniperus oxycedrus</i> 7  | Lavande stéchade<br><i>Lavandula stoechas</i> 5    |
| Lavande à large f<br><i>Lavandula latifolia</i> 5       | Chêne kermès<br><i>Quercus coccifera</i> 8             | Pistachier lentisque<br><i>Pistacia lentiscus</i> 4 | Prunellier<br><i>Eriogaster catax</i> 4            |
| Romarin<br><i>Rosmarinus officinalis</i> 5              | Ciste de Montpellier<br><i>Cistus monspeiliensis</i> 3 | Ronces<br><i>Rubus fruticosus</i> 6                 | Stacheline<br><i>Stachelina dubia</i> 3            |
| Térébinthe<br><i>Pistacia terebinthus</i> 4             | Filaria<br><i>Phillyrea latifolia</i> 5                | Thym<br><i>Thymus vulgaris</i> 4                    |  |
| HERBACEES   |  |   |  |
| Agrotis 1   | Anthyllide<br><i>Anthyllis vulneraria</i> 1            | Aphyllanthe<br><i>Aphyllanthes</i> 1                | Avoine<br><i>Avena sativa</i> 1                    |
| Brachypode des bois<br><i>Brachypodium sylvaticum</i> 1 | Brachypode penné<br><i>Brachypodium pinnatum</i> 1     | Brachypode rameux<br><i>Brachypodium ramosum</i> 1  | Brome érigé<br><i>Bromus crectus</i> 1             |
| Canche flexueuse<br><i>Deschampsia flexuosa</i> 1       | Dactyle<br><i>Dactylis glomerata</i> 1                 | Fétuques<br><i>Festuca</i> 1                        | Fougère aigle<br><i>Pteridium aquilinum</i> 2      |
| Fromental<br><i>Archenatherum elatius</i> 1             | Inule visqueuse<br><i>Inula viscosa</i> 1              |   |  |

La classification du tableau n° 03 des notes de combustibilité des espèces forestières méditerranéennes :

- La note 01 : Très faible combustibilité ;
- La note 02 : Faible combustibilité ;
- La note 03 : Combustibilité modérée ;
- La note 04 : Combustibilité moyenne ;
- La note 05 : Combustibilité moyenne à élevée ;
- La note 06 : Combustibilité élevée ;
- La note 07 : Très haute combustibilité ;
- La note 08 : Extrêmement haute combustibilité.

### 2.1.2. Carte de l'indice de végétation NDVI

Le NDVI est défini comme la différence entre la réflectance du rouge et de l'infrarouge proche divisée par leur somme (Tucker, 1979) est calculé à partir de ces valeurs individuelles comme suit :  $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ .

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

La carte de l'indice de végétation NDVI de la partie nord du massif de Collo est représentée par la figure n° 20.

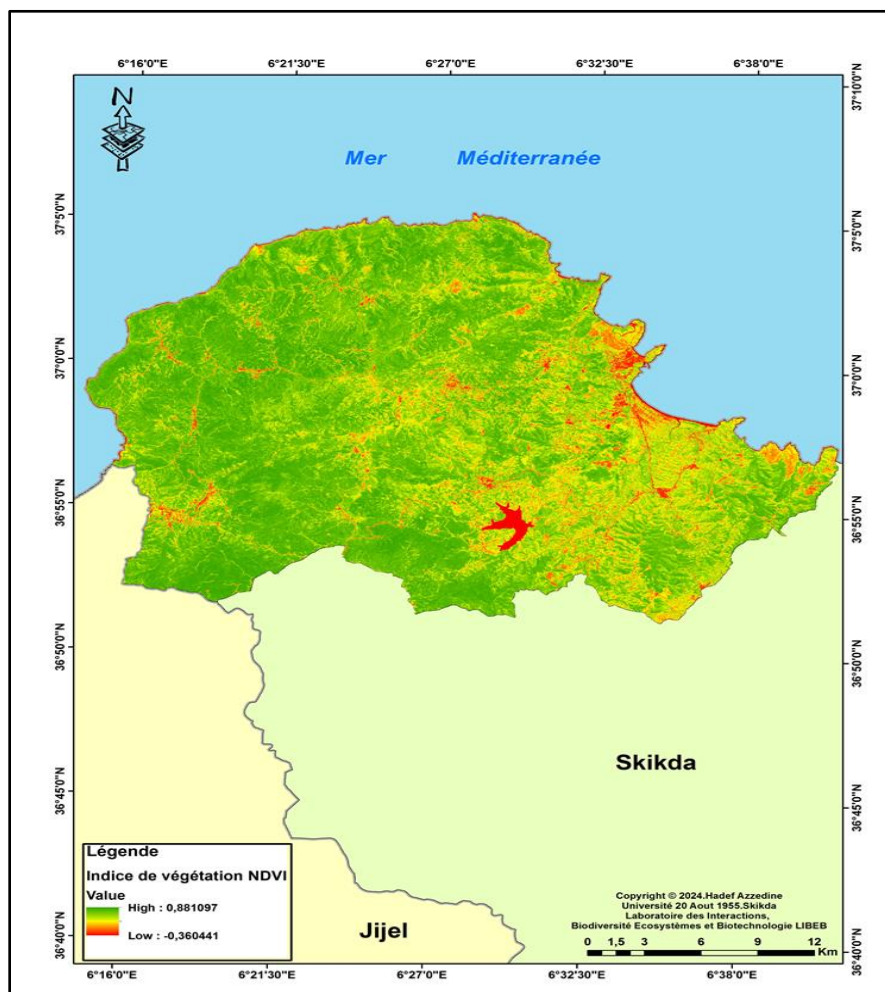
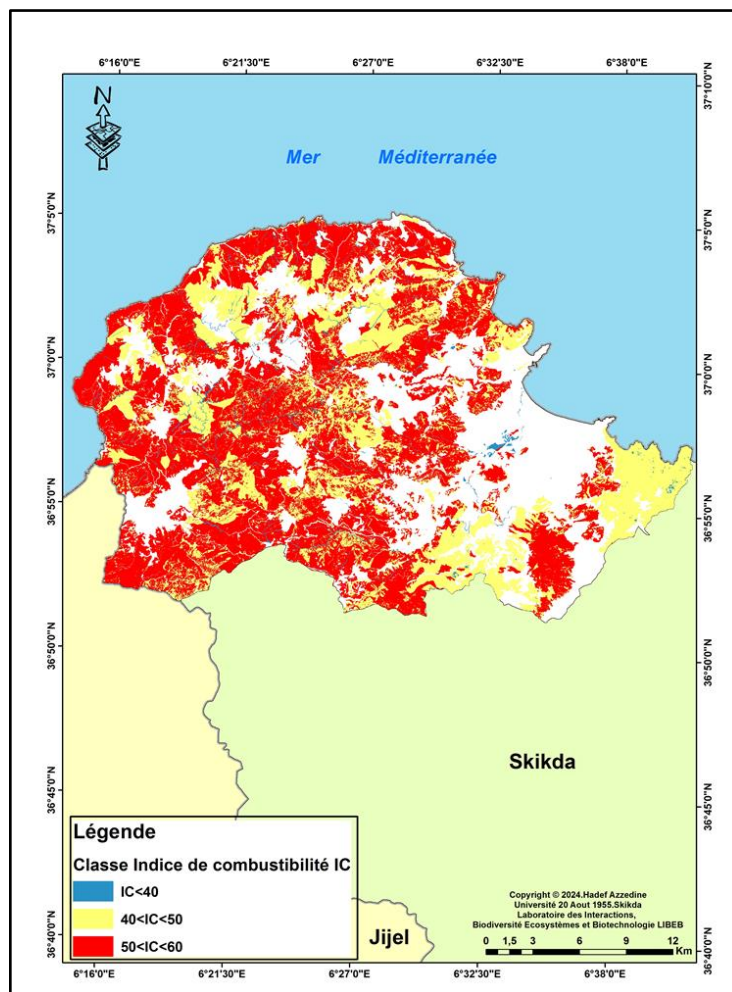


Figure n° 20. Carte de l'indice de végétation NDVI de la partie nord du massif de Collo.

D'après la figure n° 20, on constate notamment que les valeurs maximales de l'indice (0.88) correspondant à une végétation dense se situe essentiellement dans les parties Nord et Sud-Ouest de la zone d'étude.

### 2.1.3. Carte de l'indice de combustibilité (IC)

L'utilisation de la carte de végétation ainsi que la carte de l'indice de végétation NDVI, nous a permis d'extraire la carte présentée par la figure n° 21, que nous avons obtenue grâce à l'application de l'équation :  $IC = 39 + 0,23BV (E1+E2-7,18)$  par Raster Calculator sous ArcGIS 10.4.



**Figure n° 21.** Carte de l'indice de combustibilité de la partie nord du massif de Collo.

La vectorisation des classes de l'indice de combustibilité (IC) pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 04 :

**Tableau n° 04** : Répartition des superficies et codification des classes de l'indice de combustibilité (IC)

| Classe       | Code | Superficie en (Ha) | Pourcentage (%) | Note risque |
|--------------|------|--------------------|-----------------|-------------|
| IC < 40      | 1    | 785,58             | 2               | Faible      |
| 40 < IC < 50 | 2    | 16431,34           | 36              | Modéré      |
| 50 < IC < 60 | 3    | 28325,38           | 62              | Elevé       |
| IC > 60      | 4    | 0                  | 0               | Absent      |

D'après le tableau n° 04 : on note que les valeurs maximales de l'indice de combustibilité (50 et 60) occupent une superficie majeure de 62% présentant un risque élevé et la première classe dont l'indice est inférieur à 40 n'occupe que 2% de la superficie totale avec un risque faible à cause du faible couvert végétal. L'indice de combustibilité présente une forte relation avec le biovolume.

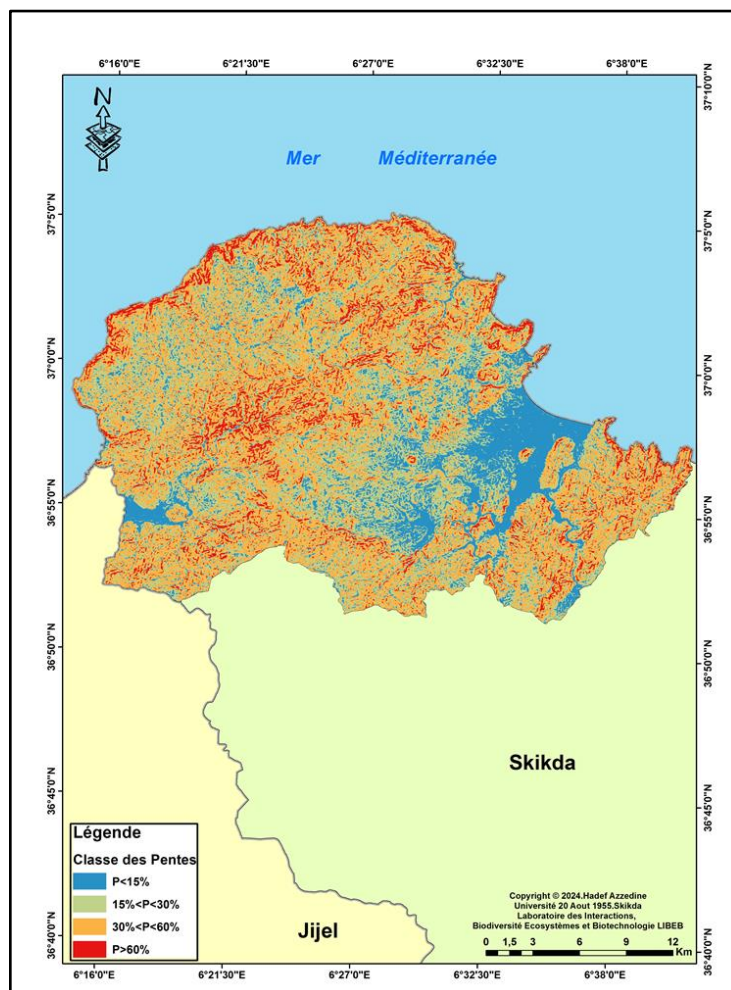
## 2.2. L'indice de topomorphologie (IM)

Le traitement du modèle numérique de terrain utilisé a permis de réaliser trois (03) cartes nécessaires au calcul de l'indice de topomorphologie (IM) : une carte des expositions, une carte des pentes et une carte topomorphologique.

### 2.2.1. Carte des pentes

Selon Tir (2016), La pente est l'inclinaison d'une surface exprimée en degré ou en pourcentage par rapport au plan de l'horizon. Le changement de pente est une réalité terrain ayant une grande influence dans les incendies de forêts tels que : le conditionnement de l'inclinaison des flammes par rapport au sol et leur vitesse de propagation.

La carte des pentes de la partie nord du massif de Collo permet d'identifier les différentes classes de pentes représentées par la figure n° 22.



**Figure n°22.** Carte de classes des pentes de la partie nord du massif de Collo.

La vectorisation de classes des pentes a permis d'obtenir les résultats représentés dans le tableau n° 05 :

**Tableau n°05 :** Répartition des superficies et codification des classes de pentes.

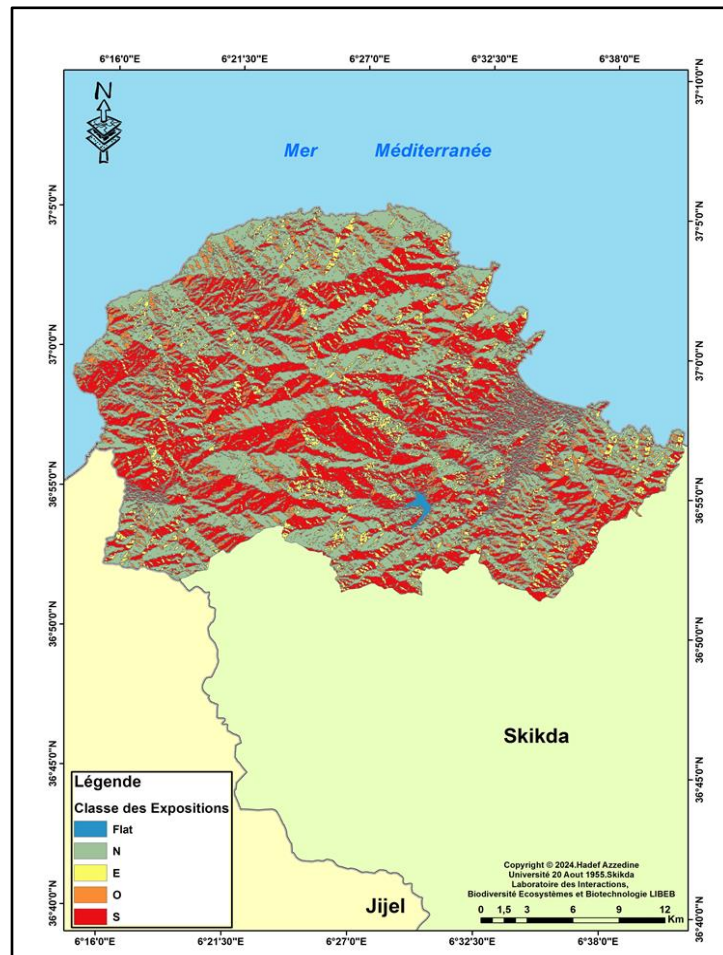
| Classe        | Code | Superficie en (Ha) | Pourcentage (%) |
|---------------|------|--------------------|-----------------|
| P < 15%       | 1    | 11241,96           | 17              |
| 15% < P < 30% | 2    | 19360,89           | 29              |
| 30% < P < 60% | 3    | 29669,14           | 45              |
| P > 60%       | 4    | 6202,84            | 9               |

D'après le tableau n°05, il apparaît que la partie nord du massif de Collo se caractérise par une variabilité des classes des pentes avec dominances des valeurs de pente entre [30% ; 60%], dont la superficie est de 29669,1472 Ha. Cependant il est à noter aussi des classes de pentes dont les valeurs sont supérieures à 60% avec une superficie totale de 6202,845876 Ha.

### 2.2.2. Carte des expositions

La carte d'exposition de la zone d'étude permet d'identifier les différentes expositions ainsi que la direction des inclinaisons qui influence la croissance du couvert végétal en raison des différences d'ensoleillement, de pluie et de vent.

La carte des expositions de la zone d'étude est présentée par la figure n° 23.



**Figure n° 23.** Carte des expositions de la partie nord du massif de Collo.

La vectorisation des classes des expositions pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 06 :

**Tableau n° 06** : Classes des expositions et classification des orientations.

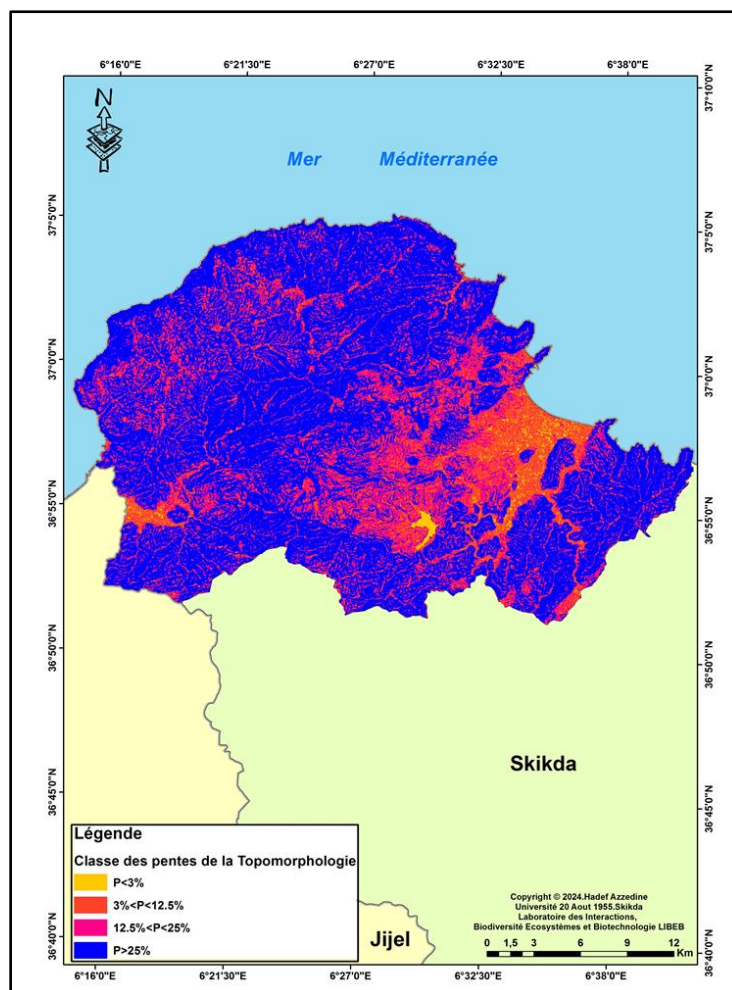
| <b>Classe</b> | <b>Code</b> | <b>Superficie en (Ha)</b> | <b>Pourcentage (%)</b> |
|---------------|-------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Flat</b>   | 0           | 151,91                    | 0,22                   |
| <b>N</b>      | 1           | 26150,40                  | 39,33                  |
| <b>E</b>      | 2           | 8506,78                   | 12,79                  |
| <b>S</b>      | 3           | 23801,59                  | 35,80                  |
| <b>O</b>      | 2           | 7863,74                   | 11,82                  |

D'après le tableau n°06, les résultats auxquels obtenus font état que la majorité de la superficie est occupée par les expositions Nord et Sud auquel sont estimés à 39,33% et 35,80% de la superficie totale suivie par les expositions Est et Ouest avec une superficie de 12,79% et 11,82% ; alors que les expositions des zones plates ne représentent que seulement 0,22 %, donc la région de partie nord du massif de Collo a un alignement Nord-Sud.

### 2.2.3. Carte topomorphologique

La position dans le versant ou la topomorphologie «m» pondère l'intensité du feu en fonction de la position sur le relief. Pour la réalisation de la carte de topomorphologie, la carte des pentes précédemment réalisée est reclassée suivant des codes bien définis.

La carte de topomorphologie de la partie nord du massif de Collo est représentée par la figure n° 24.



**Figure n°24.** Carte de la topomorphologie de la partie nord du massif de Collo.

La vectorisation des classes des pentes de la topomorphologie pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 07 :

**Tableau n°07:** Classification de la topomorphologie et la répartition des superficies.

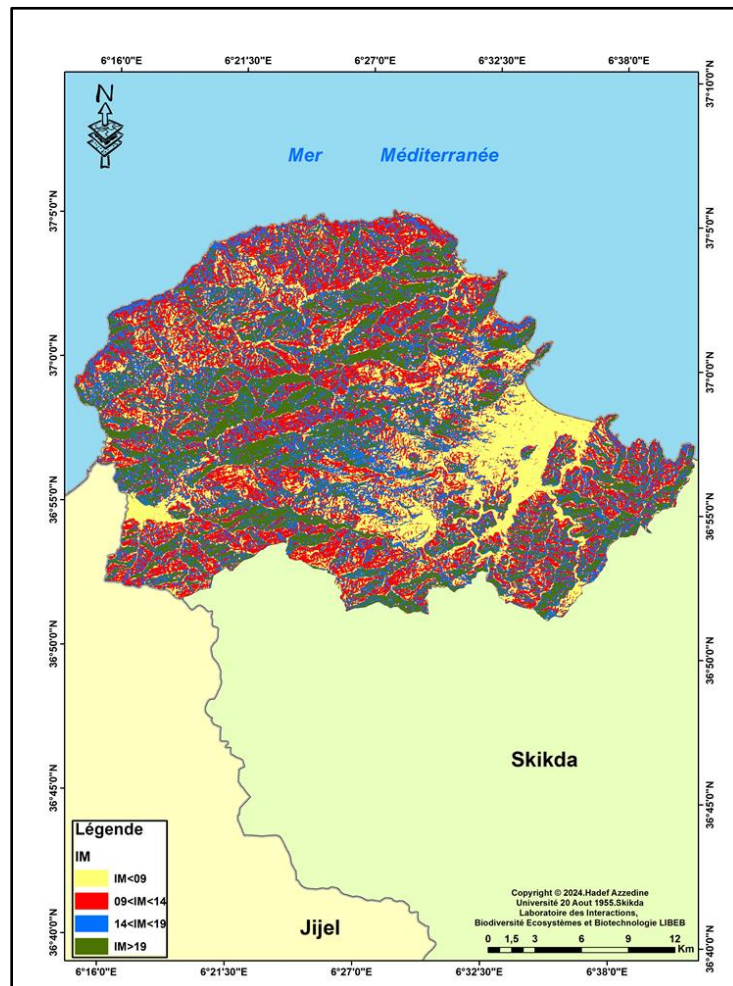
| Classe              | Code | Topographie  | Superficie en (Ha) | Pourcentage (%) |
|---------------------|------|--------------|--------------------|-----------------|
| $P < 3\%$           | 1    | Plaine       | 907,46             | 1               |
| $3\% < P < 12,5\%$  | 2    | Bas piémont  | 7716,81            | 12              |
| $12,5\% < P < 25\%$ | 3    | Haut piémont | 14955,74           | 22              |
| $P > 25\%$          | 4    | Montagne     | 42894,75           | 64              |

Les résultats obtenus dans le tableau n° 07 démontrent que la partie nord du massif de Collo est un massif montagneux forestier qui occupe une superficie de 42894,75041 Ha, caractérisé par un climat humide et frais (une zone méditerranéenne). Ce qui limite l'extension spatiale des incendies et la faible activité humaine limitant le nombre de départs de feux, donc moins d'incendies de forêts. Par contre, on trouve que les plaines ne couvrent que 907,464267 Ha de la superficie totale.

#### 2.2.4. Carte de l'indice topomorphologique (IM)

A travers les étapes et les résultats précédents, nous avons extrait la carte présentée par la figure n° 25 que nous avons obtenue grâce à l'application de l'équation :

$IM = 3p + (m.e)$  par Raster Calculator sous ArcGIS 10.4.



**Figure n°25.** Carte de l'indice de topomorphologie (IM) de la partie nord du massif de Collo

La vectorisation des classes de l'indice de topomorphologie (IM) pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 08 :

**Tableau n° 08** : Répartition des superficies et codification des classes de l'indice de topomorphologie (IM).

| Classe       | Code | Note risque           | Superficie en (Ha) | Pourcentage(%) |
|--------------|------|-----------------------|--------------------|----------------|
| IM < 09      | 1    | Peu favorable         | 14460,72           | 22             |
| 09 < IM < 14 | 2    | Moyennement favorable | 21223,92           | 32             |
| 14 < IM < 19 | 3    | Favorable             | 17072,22           | 26             |
| IM > 19      | 4    | Très favorable        | 13702,24           | 21             |

D'après le tableau n° 08 : l'indice topomorphologique est subdivisé en 4 classes. On remarque que la deuxième classe dont le (IM) est entre 9 et 14 occupe la plus grande superficie 21223,9279 Ha, avec un risque moyennement favorable et une prédominance de risques noté favorable et très favorable avec une superficie de 17072,2262 Ha et 13702,2444 Ha.

L'indice topomorphologie présente une forte relation avec la pente, l'exposition et la topomorphologie.

### 2.3. L'indice de l'occupation humaine (IH)

Puisque l'homme est responsable de la plupart des mises à feu (volontaires et involontaires) des forêts, il est impossible de modéliser le comportement humain.

L'approche statistique développée par Robin (2006) montre une corrélation claire entre le nombre des foyers près d'une route ou d'habitations. Pour évaluer l'effet humain sur les risques d'incendie, nous avons digitalisé les différentes routes et les zones d'habitat.

#### 2.3.1. Carte de proximité de bâti et de réseau routier

Les routes ont été Buffées (Multi-buffer) sous ArcGIS 10.4. Les proximités de réseau routier ont été classées de (250-500- 750) en mètre de chaque élément et enfin, nous avons codé ces derniers de 1 à 4 selon l'éloignement des forêts avec le degré de risque de feu de forêt c'est-à-dire quand la proximité de bâti est inférieure de 250 m, le risque est très élevé comme le montre le tableau n° 09.

**Tableau n° 09** : Classification de la proximité de réseau routier.

| Code | Distance (m) | Classe du risque | Superficie (Ha) | Pourcentage(%) |
|------|--------------|------------------|-----------------|----------------|
| 4    | < 250        | Très élevée      | 29242,42        | 48%            |
| 3    | 250-500      | Elevée           | 16705,93        | 27%            |
| 2    | 500-750      | Moyen            | 9650,28         | 16%            |
| 1    | > 750        | Faible           | 5411,39         | 9%             |

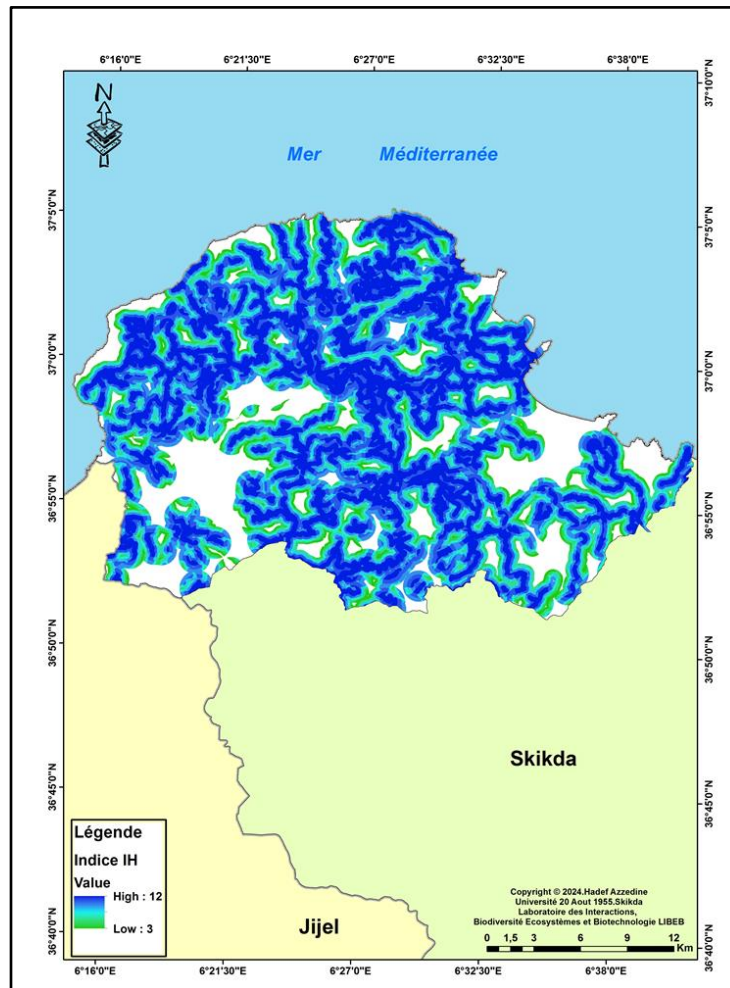
Les bâtis ont été Buffées (Multi-buffer) sous ArcGIS (10.4). Les proximités bâties ont été classées de (150-300- 450) en mètre de chaque élément et enfin, on a codé ces derniers de 1 à 4 selon l'éloignement des forêts avec le degré de risque de feu de forêt quand la proximité de bâtis est inférieure de 150 m dont le risque est très élevé est présentée dans le tableau n° 10.

**Tableau n° 10** : Classification de la proximité des bâtis.

| Code | Distance (m) | Classe du risque | Superficie (Ha) | Pourcentage (%) |
|------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 4    | < 150        | Très élevée      | 17505,75        | 30%             |
| 3    | 150-300      | Elevée           | 20810,24        | 35%             |
| 2    | 300-450      | Moyen            | 13559,33        | 23%             |
| 1    | > 450        | Faible           | 7227,59         | 12%             |

### 2.3.2. Carte de l'indice d'occupation humaine (IH)

La superposition de deux cartes, la carte de proximité de routes et la proximité des bâtis nous a permis d'extraire la carte présentée par la figure n° 26 que nous avons obtenue grâce à l'application de l'équation :  $IH = IV + 2ID$  par Raster Calculator sous ArcGIS 10.4.



**Figure n° 26.** Carte de l'indice de l'occupation humaine de la partie nord du massif de Collo.

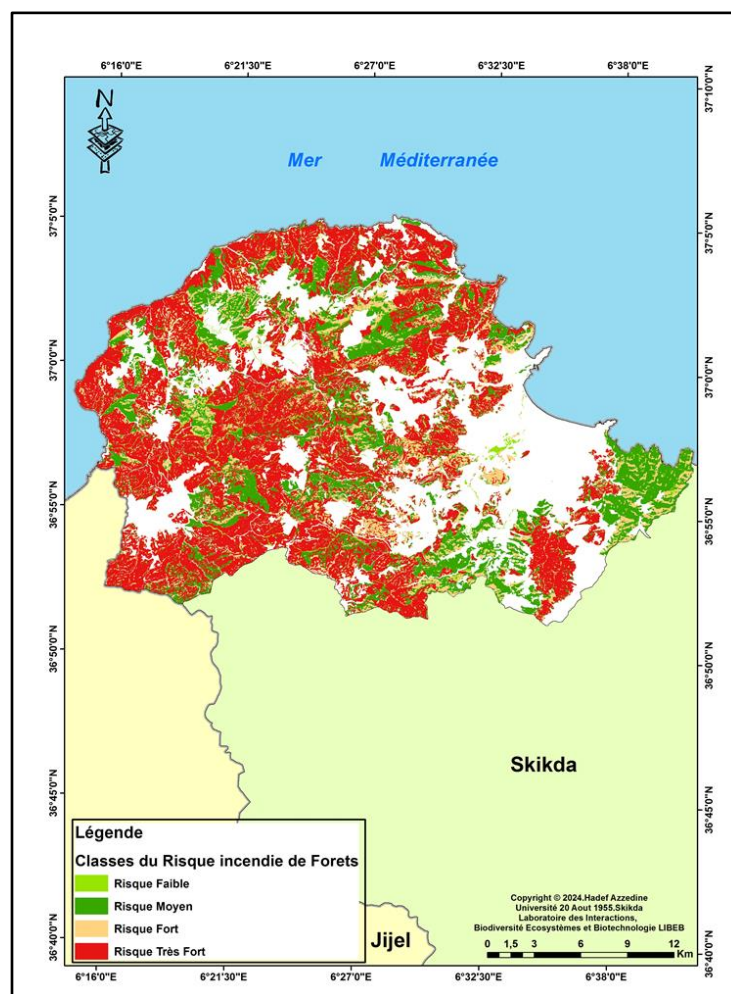
La figure n° 26 permet de connaître la tendance et le risque du feu lié à la présence humaine à l'intérieur et à la limite de la forêt c'est-à-dire : plus nous approchons des occupations humaines plus le degré de risque est élevé, et plus on s'en éloigne, plus le risque est faible. La partie en couleur bleu représente la catégorie de risque élevé du fait notamment de l'action anthropique dans la zone d'étude. La carte établie nous permet de conclure que la partie nord du massif de Collo est un espace naturel confronté à une forte anthropisation et ce, malgré l'étendu de sa superficie.

#### 2.4. L'indice du risque incendie de forêts (IR)

Afin de réaliser la carte de l'indice de risque de feu, nous avons superposé trois couches dans raster calculator dans ArcGIS 10.4 : la carte de l'indice topomorphologique, la carte de l'indice de combustibilité et la carte de l'indice d'occupation humaine selon l'équation :

$$IR = 5 IC + 2 IH + IM$$

La figure n° 27 représente l'indice du risque incendie de forêts (IR) dans la partie nord du massif de Collo.



**Figure n° 27.** Carte de l'indice du risque incendie de forêts de la partie nord du massif de Collo.

Ce travail nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 11 :

**Tableau n° 11** : Répartition des superficies des classes de risque IR.

| Classe  | Note risque      | Superficie (Ha) | Pourcentage (%) |
|---------|------------------|-----------------|-----------------|
| IR<6    | Risque Faible    | 779,22          | 2               |
| 6<IR<9  | Risque Moyen     | 12173,09        | 27              |
| 9<IR<12 | Risque Fort      | 7844,34         | 17              |
| IR>12   | Risque Très Fort | 24693,69        | 54              |

D'après le tableau n° 11, La zone comporte des surfaces favorables à très favorables pour le déclenchement des incendies à l'aide des facteurs anthropiques, pouvant se propager par plusieurs facteurs généralement les peuplements ou les espèces végétales combustibles. La plupart des zones se caractérisent par un indice de risque très fort de 54% de la superficie. Cette classe occupe principalement le Nord, Nord-Ouest et le Sud-Ouest, faiblement dans le Sud-Est, Sud-Ouest et moyennement le centre de la zone d'étude. Généralement près des réseaux routiers et des habitations où les incendies sont souvent déclenchés, tels que les feux de camp non surveillés ou les jets de mégots de cigarettes ou des équipements agricoles pouvant également enflammer la végétation sèche le long des routes. La présence de combustibles tels que des herbes sèches et des débris inflammables le long des accotements routiers aggrave le risque d'incendie. Les conditions météorologiques comme le vent peuvent également favoriser la propagation rapide du feu le long des routes (**Bertin, 2001**). En résumé, une combinaison de facteurs humains et environnementaux va mener à un danger susceptible.

On remarque que le risque faible occupe une superficie de 2%, ce sont les zones naturelles, qui n'ont vécu aucune colonisation anthropique.

Ce phénomène n'est pas spécifique au bassin Méditerranéen mais il est particulièrement important et sensible dans cette région. Différents travaux ont été menés en Algérie traitant les problématiques liées aux risques, la sensibilité au feu de forêt et ce, à travers l'utilisation de différents modèles notamment celui de DAGORNE.

Ce modèle utilisé lors de cette étude a permis de réaliser et de comprendre les risques et la sensibilité au feu de forêt pour le massif nord de Collo. L'intérêt du modèle réside notamment dans sa capacité à traiter les composantes physiques d'un massif forestier de manière indépendante mais aussi combinée. La particularité de ce modèle est appréciable dans la mesure où il s'agit d'intégrer aussi l'action anthropique comme étant un des facteurs prépondérants et importants dans tout départ de feu. Les résultats obtenus pour la partie nord de Collo indiquent un risque moyen (27%) à très fort (54%) montrent l'ampleur importante sur le risque d'incendie dans cette zone.

(Arfa, 2008) ainsi que (Bounouara, 2020) dans des travaux sur la cartographie du risque mettent l'accent sur la variabilité spatiale du risque du essentiellement à la densité du couvert végétal en place, à la nature des peuplements le constituant mais aussi à sa structure. Le couvert végétal est en effet une variable spatiale et temporelle qui peut conditionner de manière directe la nature du risque. À l'opposé de topomorphologie qui n'est pas une variable dynamique et dont la contribution à l'aléa feu de forêt peut être constante dans le temps.

Les études qui ont été réalisées sur l'inflammabilité et la combustibilité des espèces en région méditerranéenne (Valette, 1990) ont montré que ces dernières pouvaient varier considérablement d'une espèce à une autre et chaque espèce possède une note d'inflammabilité et une note de combustibilité, selon la saison ou le mois. La combustibilité caractérise plutôt une formation végétale entière avec les différentes strates qui la composent (Alexandrian et al, 1998). D'ailleurs, elle est corrélée à la composition et à la quantité de biomasse combustible (volume ou structure du peuplement) (Dagorne et al, 1990). Donc, l'inflammabilité considérée ici est la possibilité de démarrer un incendie et la combustibilité c'est la possibilité de le diffuser. Cette dernière est liée à la structure des plantes et aux caractéristiques de leurs tissus (Pausas et al, 2012).

La sensibilité des forêts méditerranéennes au feu dépend des essences qui les composent. Ces essences sont en majorité des chênes et des pins. « Il apparaît que les aiguilles de pin d'Alep sont globalement fortement inflammables au même titre que les feuilles des chênes méditerranéens » (Alexandrian et al, 1992). Selon Boudy (1955), les forêts de Chêne-liège sont les plus sensibles au feu. Les strates herbacées et arbustives (*Erica arborea*, *Arbutus unedo*,...) constituent le relais idéal qui permet au feu d'atteindre les arbres de Chêne-liège.

En l'absence d'une étude similaire dans notre zone, la carte des risques établie dans le cadre de cette étude sera d'un intérêt capital pour les services de lutte contre l'incendie et d'aménagement, vu que le modèle adopté dans la méthodologie a donné des résultats importants et convaincants caractérisés par son adaptabilité à la zone d'étude. Ainsi, la cartographie de risque d'incendie de forêts permet de mettre en évidence les zones les plus sensibles et de mieux identifier et préciser les zones de protection prioritaires. Cette carte peut être utilisée pour l'installation d'équipements et le placement de pistes.

### 3. L'analyse cartographique de la répartition des peuplements forestiers en fonction du Risque incendie (IR)

Le géotraitement effectué par l'intersection de la carte des peuplements de la partie nord du massif de Collo avec la carte de risque incendie de la zone permet d'avoir des résultats sur la répartition des peuplements par rapport à la signification du risque. Les résultats sont présentés dans le tableau n° 12 :

**Tableau n° 12 : Répartition des peuplements forestiers en fonction de la signification du risque incendie.**

| <b>Signification<br/>Peuplement</b> | <b>Risque<br/>Faible</b> | <b>Risque<br/>Moyen</b> | <b>Risque<br/>Fort</b> | <b>Risque<br/>Très Fort</b> | <b>Totale<br/>générale</b> |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Chêne afarès                        | 0                        | 36,07                   | 6,25                   | <b>39,43</b>                | 81,75                      |
| Chêne liège clair                   | 13,86                    | 799,11                  | 1153,86                | <b>5115,42</b>              | 7 082,28                   |
| Chêne liège dense                   | 5,82                     | 541,52                  | 934,83                 | <b>4975,32</b>              | 6 457,50                   |
| Chêne zeen                          | 2,81                     | <b>1774,50</b>          | 458,86                 | 831,27                      | 3 067,46                   |
| Cyprès                              | 0,82                     | 0                       | 0                      | 0                           | 0,82                       |
| Genévrier oxycèdre                  | 0,83                     | 0                       | 0                      | 0                           | 0,84                       |
| Maquis à bruyère et myrte           | 16,76                    | 1481,28                 | 2014,70                | <b>8983,29</b>              | 12 496,06                  |
| Maquis à oléo-lentisque             | 54,61                    | 3091,84                 | 1023,99                | 1,79                        | 4 172,24                   |
| Mélange L+P                         | 7,97                     | 946,59                  | 708,92                 | <b>2464,07</b>              | 4 127,57                   |
| Mélange L+Z                         | 3,72                     | 74,88                   | 204,19                 | <b>1616,65</b>              | 1 899,46                   |
| Mélange Z+ L                        | 0,53                     | 25,50                   | 122,80                 | <b>566,16</b>               | 715,01                     |
| Pin maritime                        | 11,97                    | <b>3216,29</b>          | 1138,56                | 8,44                        | 4 375,28                   |
| Pin noir                            | 0                        | 2,84                    | 0                      | 0,01                        | 2,86                       |
| Pin pignon                          | 0,24                     | 0                       | 0                      | 0                           | 0,24                       |
| Plantations à Eucalyptus            | 0,16                     | <b>85,54</b>            | 23,05                  | 0,07                        | 108,84                     |
| Ripisylves                          | <b>648,31</b>            | 14,96                   | 16,42                  | 32,52                       | 712,23                     |
| <b>Totale générale</b>              | 768,47                   | 12090,97                | 7806,49                | 24634,49                    | 45300,44                   |

D'après le tableau n° 12, le couvert forestier de la zone d'étude se caractérise par une richesse floristique très remarquable répartie selon des significations de risque incendie bien définis.

### 3.1. Représentation graphique du risque incendie en fonction des peuplements

#### 3.1.1. Risque très fort

Dans cette classe Les Maquis à bruyère et myrte occupent la première place avec un degré de risque de 72% comme le montre la figure n° 28, ce qui en fait l'association végétale la plus inflammable du tableau. Généralement, la végétation herbacée et le sous-bois sont très sensibles au feu et sont souvent détruits par son passage (Maaprat, 2011). Ils sont hautement inflammables en raison des huiles essentielles et des résines présentes dans leurs feuilles. Cela favorise la propagation rapide des incendies. Bien que ces écosystèmes aient développé des mécanismes de régénération après les incendies. Des feux fréquents ou intenses peuvent avoir des conséquences importantes sur leur structure et leur fonctionnement (Jon et al, 2012).

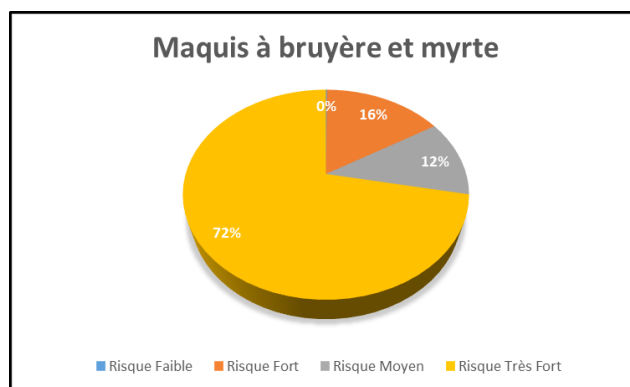
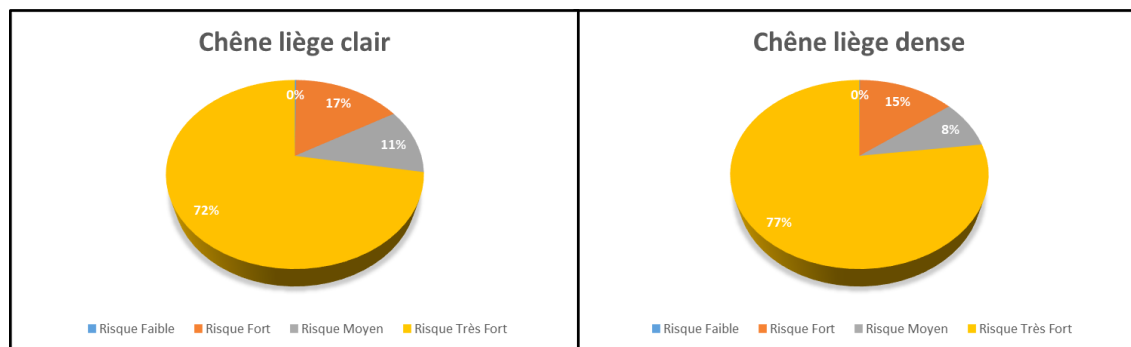


Figure n° 28. La répartition de risque incendie en fonction des Maquis à bruyère et myrte.

Les suivies en deuxième place par le chêne liège avec des degrés de risque estimés à 72% pour le chêne liège clair et 77% pour le chêne liège dense comme le montre la figure n° 29. La morphologie distinctive du chêne liège caractérisée par son écorce épaisse et résistante, confère à l'arbre une certaine résilience face aux incendies. Cette écorce riche en cellules mortes et dotée de propriétés ignifuges limite la propagation des flammes dans les forêts de chênes lièges.

Cependant, malgré cette adaptation, les parties vivantes de l'arbre demeurent sensibles aux dommages causés par le feu. Par conséquent, une gestion efficace des incendies demeure indispensable pour préserver ces écosystèmes forestiers, en particulier dans les régions méditerranéennes où les incendies sont fréquents (Vallejo et al ,2012).



**Figure n° 29.** La répartition de risque incendie en fonction de chêne liège.

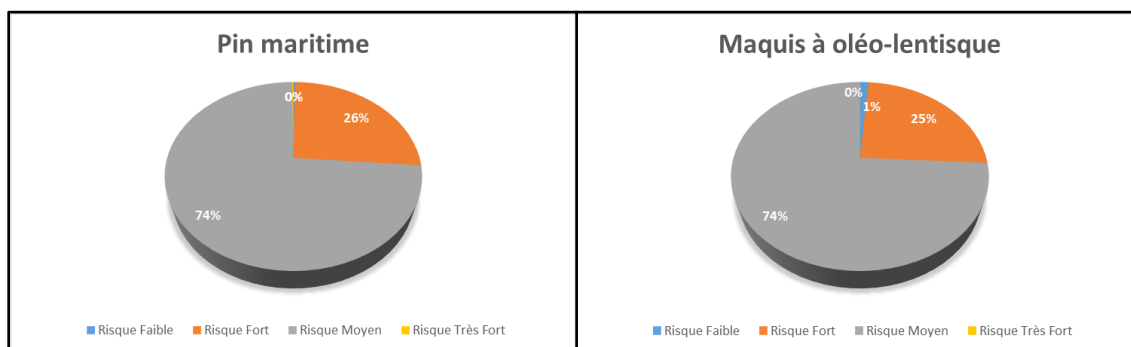
Les 3 Mélanges (L+P), (L+Z) et (Z+ P) présents aussi dans cette classe de risque très fort. La relation de ces mélanges avec les incendies de forêt dépend des caractéristiques spécifiques, de leur densité de combustible et des conditions météorologiques locales. Le mélange de peuplements forestiers (L+P), pourraient réduire le risque d'incendie global car les forêts de feuillus sont généralement moins inflammables que les plantations de pins. Par contre, Les mélanges (L+Z) et (Z+P), pourraient augmenter le risque d'incendie en raison de la forte inflammabilité des maquis et des garrigues et des plantations de pins (Maaprat, 2011).

Aussi, le Chêne afarès qui possède les mêmes caractéristique de chêne liège mais avec une superficie plus petite.

### 3.1.2. Risque moyen

Dans la catégorie de risque moyen on voit que le pin maritime et les Maquis à oléo-lentisque sont les plus dominants avec des degrés de risque de 74% pour les deux présentés dans la figure n° 30. Le pin maritime est connu pour sa forte inflammabilité en raison de la présence de résine dans son bois et ses aiguilles. Cette résine est hautement combustible, ce qui la rend particulièrement sensibles aux incendies. Les maquis à oléo-lentisque composés principalement d'arbustes à feuilles persistantes comme le lentisque, ont une relation significative avec les incendies dans les écosystèmes méditerranéens. Ils sont inflammables en raison de la présence de résines dans leurs feuilles et leurs branches mais les incendies

qui s'y produisent ont tendance à être moins intenses en raison de la structure plus ouverte et de la densité plus faible de la végétation (Médail, 1997).

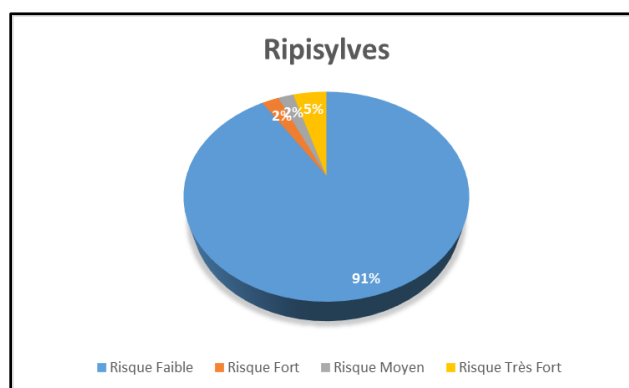


**Figure n° 30.** La répartition de risque incendie en fonction de pin maritime et Maquis à oléo-lentisque et myrte.

Aussi le chêne zeen qui partage des adaptations similaires au chêne liège pour résister aux incendies et les Plantations à Eucalyptus connus par leur inflammabilité élevée en raison de l'huile volatile dans leurs feuilles et leur écorce, ce qui les rend sensibles aux incendies (Azam, 2019).

### 3.1.3. Risque faible

Dans la signification à risque d'incendie faible on trouve en premier les Ripisylves avec un degré de risque de 91% comme le montre la figure n° 31. Ils bénéficient d'une certaine protection naturelle grâce à leur proximité avec l'eau, elles peuvent néanmoins être vulnérables aux incendies, en particulier lors des périodes de sécheresse (Tabacchi et al, 2000).



**Figure n° 31.** La répartition de risque incendie en fonction des Ripisylves.

Pour les Cyprès, Genévrier oxycèdre, Pin noir et Pin pignon ils ont une présence limitée qui puisse réduire le risque d'incendie (risque quasi inexistant ou absent).

Il résulte que la manière dont les différentes couches de végétation s'organisent les unes par rapport aux autres, pouvant avoir un impact sur le risque d'incendie. Une stratification complexe avec des couches de végétation dense et superposée peut aggraver les risques d'incendie en favorisant la propagation rapide des flammes et en alimentant le feu avec plus de combustible. En d'autres termes, plus l'architecture du tapis végétal et sa stratification est complexe plus les risques de montée en puissance des feux sont aggravés **(Barbero et al, 1988)**.

# **Conclusion**

### Conclusion

Le massif de Collo est un important massif forestier situé dans la région du Nord-Est de l'Algérie, à environ 400 km à l'est d'Alger et 75 km au nord-ouest de Constantine, il constitue un espace d'un grand intérêt écologique. Malheureusement, au cours des dernières années, il a été exposé à plusieurs risques notamment les incendies, qui aboutissent à des pertes. De ce fait, cette région nécessite une attention particulière pour réduire les dommages causés par les feux et sa préservation pour les générations futures.

L'étude s'inscrit dans le but d'évaluer le risque incendie et la réalisation d'une carte des facteurs de risques de la zone nord du massif de Collo à l'aide du Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et de la télédétection par l'application d'un modèle qui fait intervenir cinq paramètres : le type de végétation, la pente, l'exposition, la proximité des routes et la proximité des habitations. La régression de ce patrimoine forestier s'est accélérée par la pression de la démographie et la proximité des routes.

La carte de risque d'incendie montre que 54% de la superficie forestière de la partie nord de Collo présente un risque très élevé qui caractérise la partie Nord, Nord-Ouest, et le Sud-Ouest. Ce type de risque est dû à la végétation inflammable (chêne liège), à la fréquentation humaine élevée, au réseau routier dense, à la pente élevée (> 30%) et à l'exposition Nord et Sud.

La cartographie du risque d'incendie de forêts constitue un outil d'aide à la décision en terme de prévention et de protection du potentiel forestier et un moyen de gestion du territoire, notamment en matière d'aménagement et de prévention des risques naturels.

L'étude nous a donné plusieurs idées à développer dans le futur pour protéger ce massif. Comme perspectives, nous proposons :

- L'installation des tranchées pare-feu (TPF) pour renforcer la résilience face aux incendies. Et pour créer des zones de protection, limitant la propagation des flammes et facilitant la gestion sécurisée des feux. Cette approche proactive contribue à sécuriser les infrastructures critiques et à préserver les écosystèmes vulnérables.
- La sensibilisation et l'éducation des différents acteurs (citoyens, agriculteurs, éleveurs, les touristes...), pour prévenir les catastrophes naturelles. Des campagnes de sensibilisation peuvent être mises en place pour informer le public des dangers liés aux incendies de forêt et des comportements à adopter.

- Une réglementation stricte pour lutter contre les incendies de forêt est également essentielle. Les règles encadrant l'utilisation du feu en plein air, comme les feux de camp, les feux d'agriculture ou encore le brûlage de déchets doivent être strictement appliquées.
- Une gestion forestière appropriée est également importante : En éliminant les combustibles excessifs telles que les branches mortes et les broussailles et en créant des zones tampons autour des communautés d'où le risque d'incendie est réduit.
- L'implantation des formations végétales pour préserver la biodiversité spécifique de la zone d'étude comme : le chêne-liège, le chêne zeen et le châtaignier.
- Fournir aux services forestiers des véhicules équipés de tout le dispositif de lutte contre les incendies et augmenter le nombre des équipes d'intervention.
- Installer plusieurs points d'eau (qui serviront à ravitailler les camions citernes) dans des sites les plus proches possibles des zones à risque élevé d'éclosion des feux et d'entretenir les anciens réservoirs d'eau.
- Le plan de prévention des risques d'incendies de forêts (PPRIF) : est un document stratégique qui contribue activement à minimiser les risques liés aux incendies. Il établit des mesures de prévention spécifique pour les zones exposées à ces dangers.

# **Références Bibliographiques**

### Références Bibliographiques

**Alessio G, Lillis M, Fanelli M, Pinelli P and Loreto F. (2004):** Direct and indirect impacts of fire on isoprenoid emissions from Mediterranean vegetation. *Functional Ecology*, 18: 3357–3364.

**Alexandrian D, Esnault F et Calabri G. (1998) :** Feux de forêts dans la région méditerranéenne. Analyse des tendances des feux de forêt en Méditerranée et des causes sous-jacentes liées aux politiques, *Unasylva*, 197 (50) : 35-41.

**Arfa A. (2008) :** Les incendies de forêts en Algérie : stratégies de prévention et plans de gestion. Mémoire de Magister en écologie et environnement, université Mentouri Constantine, Algérie, 123p.

**Arfa A. (2019).** Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf. Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 230 p.

**Azam S and Warman N. (2019) :** Eucalyptus Plantation and Its Effects on Soil Fertility : A Review. *South African Journal of Botany*, 121, 234–240p.

**Barbero M. (1988) :** Perturbations et incendies en région méditerranéenne française. Univ d'Aix- Marseille III, 409-419p.

**Bekdouche F. (2010) :** Evaluation après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (nord Algérien). Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou, 175p.

**Belkaid H. (2016) :** Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie cas de la Kabylie maritime. Univ de Nice Sophia Antipolis23, 80 :223p.

**Berger A., Lacroix P., Lavenu G., Lesellier S., Reynaud I., Tournadre G., et Gonzalez O. (2005).** ArcView 9 Niveau 1. Support de cours avec exercices pratiques et données. Edition ESRI France, Meudon, p. 388.

**Bertin S et Lefeuvre J C. (2001) :** Risque d'incendie de forêt et réseau routier en région méditerranéenne : analyse statistique sur le département de l'Hérault. *Revue de géographie alpine*, 89(2), 35-45.

**Boudy P. (1955) :** Economie forestière Nord-africaine : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose, 453p.

**Bounouara A. (2020)** : Cartographie du risque d'incendie des formations forestières du massif de Refâa à l'aide d'un S.I.G (Wilaya de Batna). Thèse de Doctorat, université de Batna, 1-98p.

**Cemagref. (1989)** : Guide technique du forestier méditerranéen français. Fiche 4-5 : inflammabilité, combustibilité.

**Colin P Y, Jappiot M, Mariel A, Lampin C et Veillon S. (2001)** : Protection des forêts contre l'incendie. Edit, FAO/C.E.M.A.G.R.E.F, Cahier FAO Conservation n°36, 149p.

**Dargone A et Ottati Y. (1990)** : Des données à l'information ou l'utilité d'un SIG. Economica, Paris, 23-27p.

**DGF. (1975)** : Occupation du sol et dynamiques d'inondation. La classification de l'occupation du sol, 17 au 21 avril 2016, Jijel, Algérie.

**Duche & Dagorne. (1993)** : Cartographie du ni eau de risque d'incendie, exemple du massif des Télédétection en agriculture Première partie : Principes généraux de la télédétection (image spatiale et son contenu). Actes colloques de Montpellier, 13-15 Mars 1990, 11-27p.

**Esri. (2009)**: An overview of linear referencing. Arc GIS 9.1 Web help topic, 40p.

**FAO. (2008)**: Workshop on forest fires in the Mediterranean region. Prevention and regional cooperation, Sabaudia, Italy, Rome, FAO, 28 p.

**FAO. (2016)**: The State of the World's Forests 2016: Forests and Agriculture, Land Use Challenges and Opportunities. Rome.

**Faleh A, Lakhouaja H, Sadiki A and Chaaouan J. (2012)**: GIS, teledetection and evaluation of forest risk "Example of forest Khezana (Province Chaouene)". Journal of Papeles de Geografía, 55-56, 37-48.

**Feller M C. (1996)**: The influence of fire severity, not fire intensity, on understory vegetation biomass in British Columbia. 13th Conference on Fire and Meteorology, Lorne, Australia, 31/10/1996, 27p.

**Frederic J. (1992)** : Modélisation du comportement du feu, influence de la pente et de la charge d'une litière d'aiguilles de pin maritime. Document PIF9205, Avignon, 29p.

**Jon E, Keeley, William J, Bond and Ross A. (2012)**: Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management. Brad stock : 275-309p.

**Hadjadj M.F. (2010).** Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine). (Modélisation climatique et classification). Thèse de Magister. En agronomie, Constantine, 187p.

**Gilliot J. (2000) :** Revue, Introduction aux SIG « Systèmes D'informations Géographiques.

**Gaetano R. (2018)** Le Programme Copernicus et la mission Sentinel-2. Article, 28 p.

**Karen k. (2008) :** Encyclopedia of geographic information science. SAGE Publications, Inc.2455 Teller Road Thousand Oaks, California 913 : 20, 98 P.

**Lahaye S. (2018) :** Comprendre les grands feux de forêt pour lutter en sécurité, Systèmes Int égrés, Environnement et Biodiversité. Thèse de doctorat, Université de recherche Paris Sciences et Lettres, École doctorale de l'EPHE – ED 472, 85p.

**Maatrap. (2011) :** « Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation de pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire ». Prévention des incendies de forêt, 36p.

**Meddour-Sahar O. (2008) :** Contribution à l'étude des feux de forêts en Algérie : approche statistique exploratoire et socio-économique dans la wilaya de Tizi Ouzou. Thèse de Magister, Ina El harrach, 275 p.

**Meddour-Sahar O, Meddour R, et Derridj A. (2010) :** Les facteurs favorables aux incendies de forêt en région méditerranéenne. Revue Campus, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

**Médail F and Quézel P. (1997):** Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities. Conservation Biology, 11(6), 1510–1513.

**Megrouche R. (2006) :** Sensibilité de la végétation forestière aux incendies, cas de forêt domaniale de chattabah-ainsmara- Constantine. Mémoire de magistère en Ecologie et Environnement, Université Mentouri Constantine, Algérie, 157p.

**Pausas J G, Alessio G A, Moreira B and Corcobado G. (2012):** Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*. International Journal of Wildland Fire, 21(4), 297-307p.

**Pausas J and Verdú M. (2005):** Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean Basin: A phylogenetic approach. Oikos, 109: 196-202p.

**Perriez F, Jean H B, François B, Patrice F, Jean P B et Jean P D. (2003)** : Rapport sur la protection des incendies de forêt après les feux de l'été 2003. Orée, 126p.

**Robin J G, Carrega P and Fox D. (2006)**: Modelling fire ignition in the Alpes-Maritimes Department, France. Acomparison. 5th International Forest Fire Conference, Coimbra (Portugal), Novembre 2006.

**Robitaille A. (1995)** : La cartographie des districts écologiques du ministère des Ressources naturelles du Québec. Revue forestière française, vol XLVII, n° 2, 1995, 173-189p.

**Tabacchi E, Naiman R, Decamps H et Pollock M. (2000)** : Les ripisylves : rôles écologiques et aménagements. Institut national de la recherche agronomique (INRA).

**Tebani M. (2023)** : JOURNÉE SCIENTIFIQUE : Les incendies de forêts : causes, conséquences, méthodes de lutte et principales espèces végétales utilisées dans le reboisement en Algérie. Dpt. EEDD\_ F. SNV\_ UHB de Chlef: le 17 /12/ 2023, 05p.

**Tir E. (2016)** : Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la wilaya de Tissemsilt. Mémoire de Magister, Université Aboubakr Belkaid Tlemcen, 62p.

**Trabaud. (1992)** : Sécheresse, attention aux feux de forêt. Journal l'Alsace centrale, (publié le 12 mars 2012).

**Trabaud L. (1970)** : Le comportement du feu dans les incendies de forêts. Extrait de la revue technique du feu, 103 : 15p.

**Tucker C J. (1979)**: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Journal of Remote Sensing of Environment, 8: 127–150 p.

**Valette J C. (1990)** : Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes, Conséquence sur la combustibilité des formations forestières. In Revue forestière française, 17: 76-92p.

**Vallejo R, Aronson J, and Pino J. (2012)**: Cork Oak (*Quercus suber*) Woodlands in the Western Mediterranean: Ecology, Management, and Conservation.

### Sites Web

<https://earth.google.com/web/>

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96151.x>