

Mathiron Jade

L3 GEO

Stirmann Alicia

Mantoux Eden

# Télédétection : Embruns marins et activité végétative



## Introduction (1p) :

La végétation forestière littorale joue un rôle considérable aussi bien sur le plan écologique que sur les plans économique et social. En effet, si cette dernière protège les sols de l'érosion du vent et régule le climat, elle fixe aussi le sable pour éviter que celui-ci n'envahisse les habitations. Toutefois, un dépérissement de cette végétation a été observé le long du littoral méditerranéen depuis les années 1950 en France. Ce phénomène de dépérissement ne se réduit pas aux seules côtes françaises puisque des publications étrangères font état du même problème (Italie et en Australie par exemple). L'un des facteurs de ces importants dégâts sont des polluants atmosphériques comme l'ozone et le dioxyde de soufre. Aussi, moins connus, les embruns marins pollués ont des effets significatifs sur la végétation littorale. Ces derniers sont des aérosols générés par la friction du vent à la surface de la mer et des océans. Ils transportent des composants phytotoxiques puisqu'ils se forment à partir des eaux de surfaces chargées en polluants émanant des activités anthropiques (hydrocarbures rejetés par le trafic maritime et eaux usées des agglomérations du littoral).

Certains polluants dégradent la surface des feuilles ce qui engendre par exemple une pénétration des sels marins dans les tissus végétaux. Ce dépérissement concerne un large pan de la végétation. Toutefois, avec leurs aiguilles persistantes, les conifères semblent plus sensibles aux embruns marins que les feuillus. Cette dégradation est par exemple visible sur les rameaux défoliés des pins d'Alep (cf image) et peut causer la mort de l'arbre.

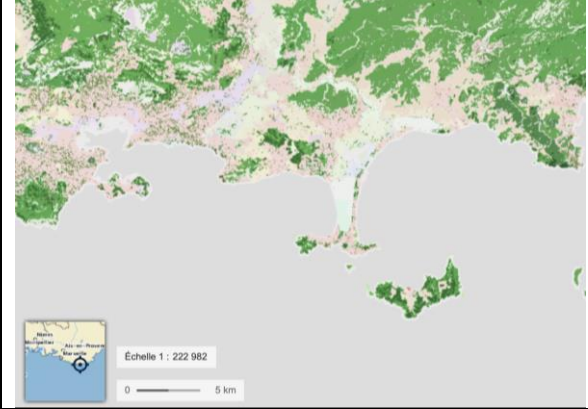
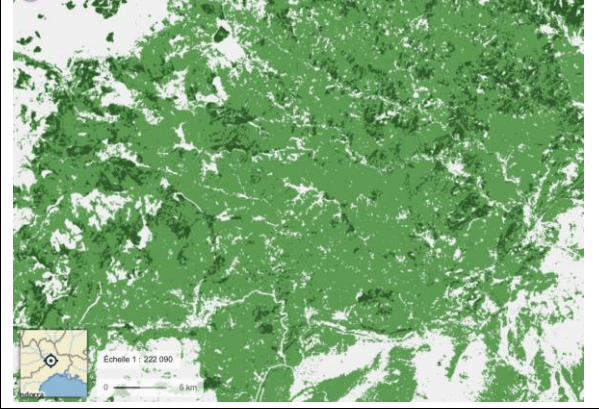


Pin d'Alep au cap du Dramont, P.M. Badot

Toutefois, il est à noter que seuls quelques travaux ont été consacrés à l'étude des effets des embruns marins pollués sur la végétation avec ceux du Parc national de Port Cros ou du ministère de l'Environnement dans cadre du GIS Posidonie par exemple.

De plus, ce dépérissement est loin d'être uniforme le long de la Méditerranée. En effet, les travaux de l'INRA de Nancy ont montré que les "rivages les plus touchés sont les rivages aux côtes peu accidentées ou avec des baies largement ouvertes". La proximité de grandes agglomérations ou de centres industrialo-portuaires joue aussi un rôle prépondérant. De fait, les départements des Pyrénées-Orientales, de l'Aude et de l'Hérault sont plus sévèrement affectés que celui du Var qui est peu touché. Toutefois, dans ce dernier département, des atteintes significatives ont été rapportées dans les îles d'Hyères (Porquerolles et Port-Cros).

Ainsi, il s'agit de se demander quels sont les impacts des aérosols marins pollués sur la végétation de la côte d'Azur. Pour mener à bien cette étude, il convient de comparer cette végétation côtière avec une végétation similaire dans les Cévennes (conifères et feuillus principalement).

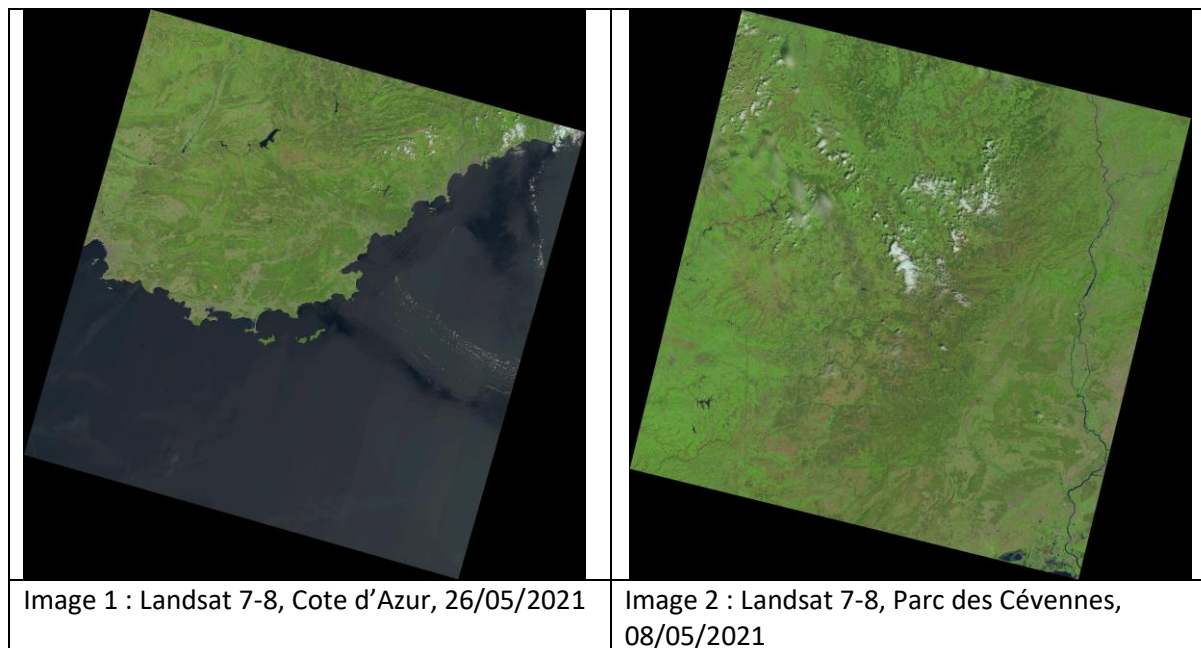
	
<p><u>Type de forêt dominant sur la Côte d'Azur.</u> (Source : Geoportail, 2015)</p>	<p><u>Type de forêt dominant dans le Parc National des Cévennes.</u> (Source : Geoportail, 2015)</p>

#### Type de forêts

- ☐ Zone non arborée
- ☒ Feuillus
- ☒ Conifères
- ☐ Inclassable (nuage, donnée satellite indisponible, ombre ou neige)

## Partie de présentation des images satellitaires mobilisées (1 ou 2p)

En ce qui concerne les images satellitaires que nous avons mobilisées dans notre analyse, nous avons choisi Landsat pour sa résolution spatiale qui est haute et ainsi avoir plus de détails localement. Ceci nous semble très pertinent pour le calcul d'indice sur une zone précise. En l'occurrence nous avons choisi de comparer deux zones : l'une se trouvant en Côte d'Azur au niveau de Toulon et la seconde dans le parc national des Cévennes. Plus précisément ce sont deux images en comptes numériques de Landsat 8-9 (collection 1) que nous avons récupérées. Puisque nous avons choisi une année récente (2021), ces capteurs nous fournissent les éléments dont nous avons besoin.



Ci-dessus nous retrouvons donc les images en vraies couleurs téléchargées sur USGS Landsat. Nous avons également téléchargé les bandes 4 et 5 pour avoir le rouge et le proche infrarouge pour calculer l'indice du NDVI car il s'agit d'un indice spectral qui requière la combinaison de deux bandes spectrales pour être obtenu. Pour rappel, le NDVI (Normalized Vegetation Index) nous permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes par le biais de capteurs. Aussi, nous avons pris en plus les bandes 1, 2 et 3 dans les cas où nous utiliserions l'une d'entre elles pour calculer d'autres indices comme l'EVI par exemple. Nous avons choisi ces deux zones pour leur végétation plus ou moins similaire, mais surtout parce que la côte est particulièrement exposée aux aérosols marins alors que les Cévennes ne le sont quasiment pas cela vient donc appuyer notre problématique.

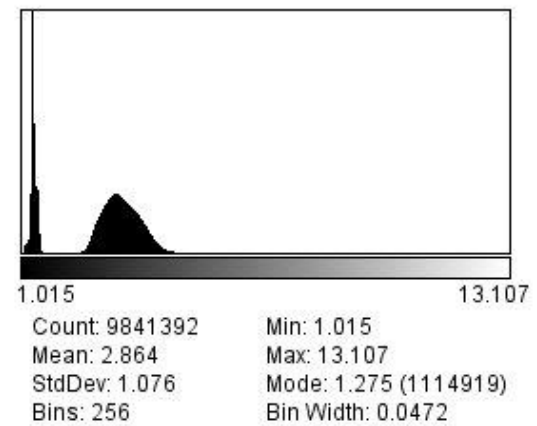
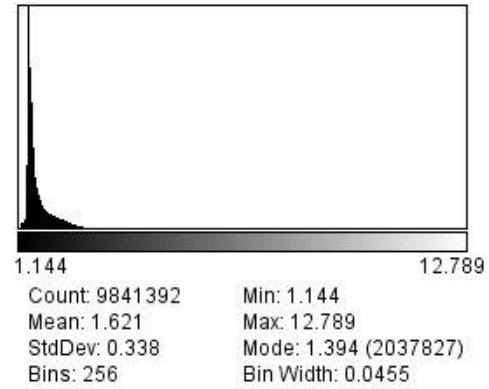
Nous avons téléchargé deux images sur la plateforme nommée LAADS DAAC pour Level-1 and Atmosphere Archive and Distribution System Web Interface en anglais et signifiant Interface Web du système d'archivage et de distribution de niveau 1 et de l'atmosphère en français. Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les images offertes par les capteurs satellitaires MODIS Terra et Aqua qui disposent de 36 bandes spectrales dont les résolutions spatiales sont différentes allant de 250 mètres à 1000 mètres. Il s'agit donc de capteurs à moyenne résolution spatiale ce qui nous permet d'avoir des images à l'échelle continentale

voire régionale. De manière générale, les capteurs à moyenne résolution spatiale permettent d'acquérir une image par jour, la résolution temporelle des capteurs satellitaires MODIS est donc de deux images par jour (une image est prise par le capteur satellitaire à bord d'Aqua tandis que la seconde image est prise par le capteur satellitaire à bord de Terra). Nous avons fait le choix de travailler avec MODIS pour mettre en évidence les aérosols et en particulier les embruns marins sur des régions se situant dans le sud de la France afin de les comparer à savoir les Cévennes et la Côte d'Azur et de faire le lien avec les données acquises sur la végétation grâce à l'utilisation de LANDSAT.

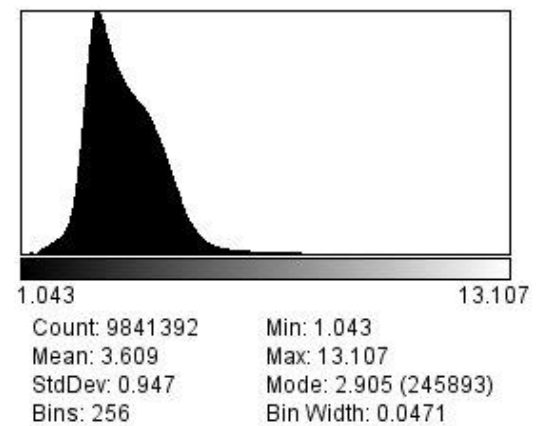
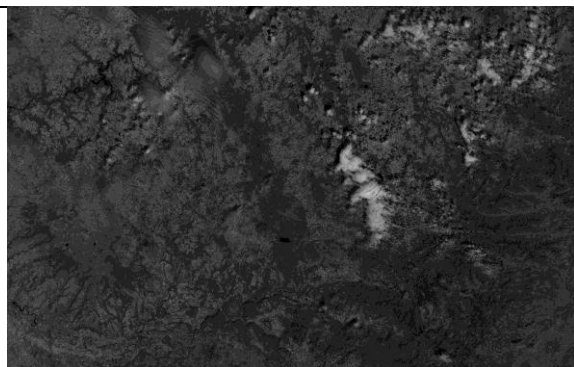
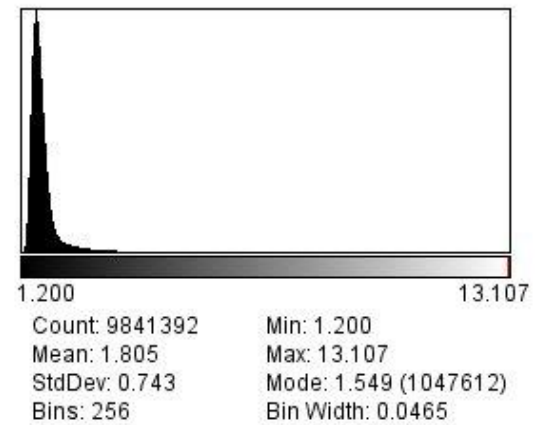
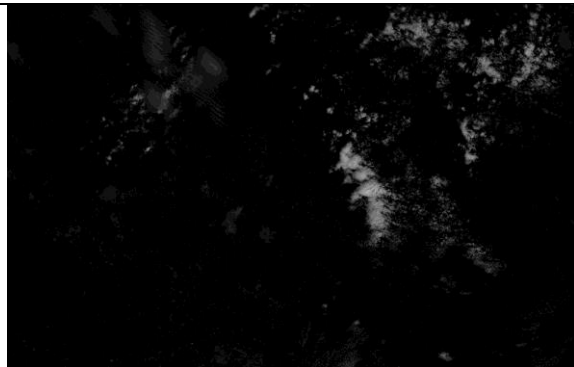
En ce qui concerne les dates d'acquisition des images, nous nous sommes basées sur la saison végétative des espèces présentes dans les zones que nous avons choisi à savoir le printemps pour mettre en lien les deux variables sélectionnées : aérosols et plus particulièrement les embruns marins. Le lieu d'acquisition choisi est le site Alpilles 01 situées à 43,81 ° de latitude et 4,74° de longitude. Ce dernier se trouve dans le sud de la France, proche d'Avignon quasiment à mi-chemin entre les Cévennes et la Côte d'Azur. Les produits téléchargés sont donc ceux de MODIS-Aqua de la collection 6.1 de niveau 1 pour l'atmosphère et la terre dont la résolution spatiale est de 3 kilomètres en date du 27 mai 2021 à 12h10 (MYD04\_3K.A2021147.1210.061.2021152141542.hdf) ainsi que celle datant du 1er avril 2021 à 12h55 (MYD04\_3K.A2021091.1255.061.2021092151725.hdf). Ces images sont des AOT. L'AOT pour Aerosol Optical Thickness ou épaisseur optique des aérosols est un indicateur de la pollution atmosphérique. Il varie entre 0, lorsqu'il n'y a pas de pollution apparente et que l'atmosphère est claire, et 1, lorsque l'atmosphère est turbide et chargée de polluants. Cet indicateur est normalisé mais il ne résulte pas d'une combinaison de bandes spectrales car il est le fruit d'une équation complexe et est donc un produit que nous avons directement récupéré sur la plateforme de la NASA en nous assurant préalablement que la couverture nuageuse sur les zones que nous avons choisie soit nulle ou quasiment.

### Partie sur le pré-traitement des images satellitaires (3p)

Nos images de Landsat ont été prétraitées sur Fiji (ImageJ) tout d'abord en les encodant puis en appliquant un ROI similaire pour avoir une surface d'étude équivalente. À la suite de cela, nous avons appliqué deux formules afin d'obtenir des réflectances exploitables au calcul de notre indice de végétation. En l'occurrence, ce sont les images associées aux longueurs d'onde du rouge et du proche infrarouge que nous avons principalement prétraitées. Nous avons donc appliqué la première formule :  $v = 2.0000E - 0.5 * v - 0.1$ . Cela nous a permis d'obtenir les réflectances nécessaires que nous avons à nouveau retraitées pour ajuster les valeurs et les rendre traitables :  $v = v * 0.0001$ .



### Réflectances de la côte d'Azur pour les longueurs d'onde rouge et infrarouge





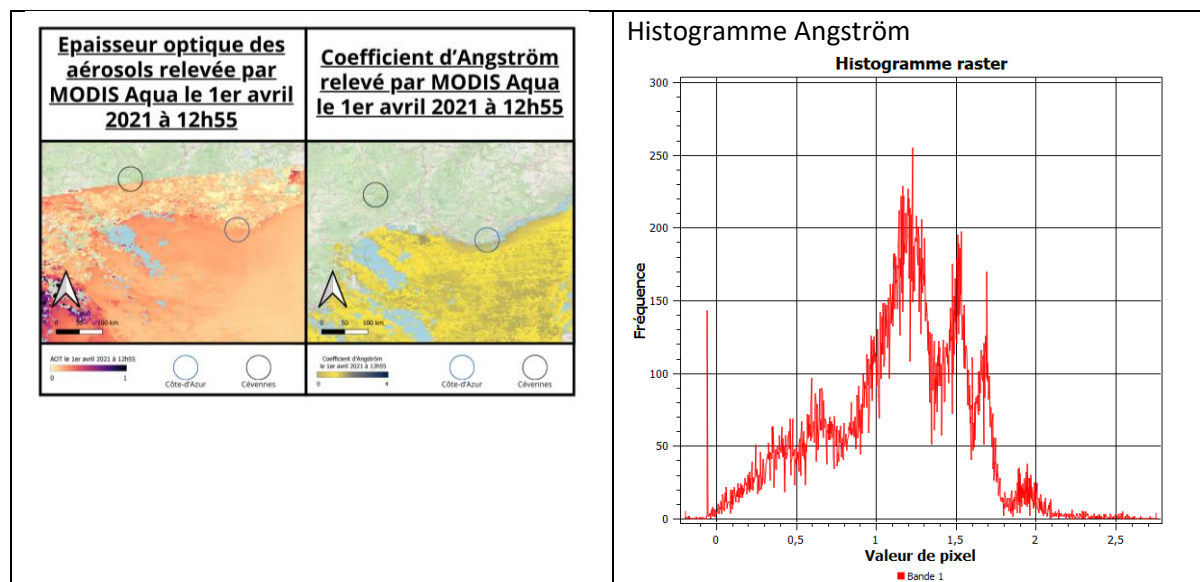
## Réflectances des Cévennes pour les longueurs d'onde rouge et infrarouge

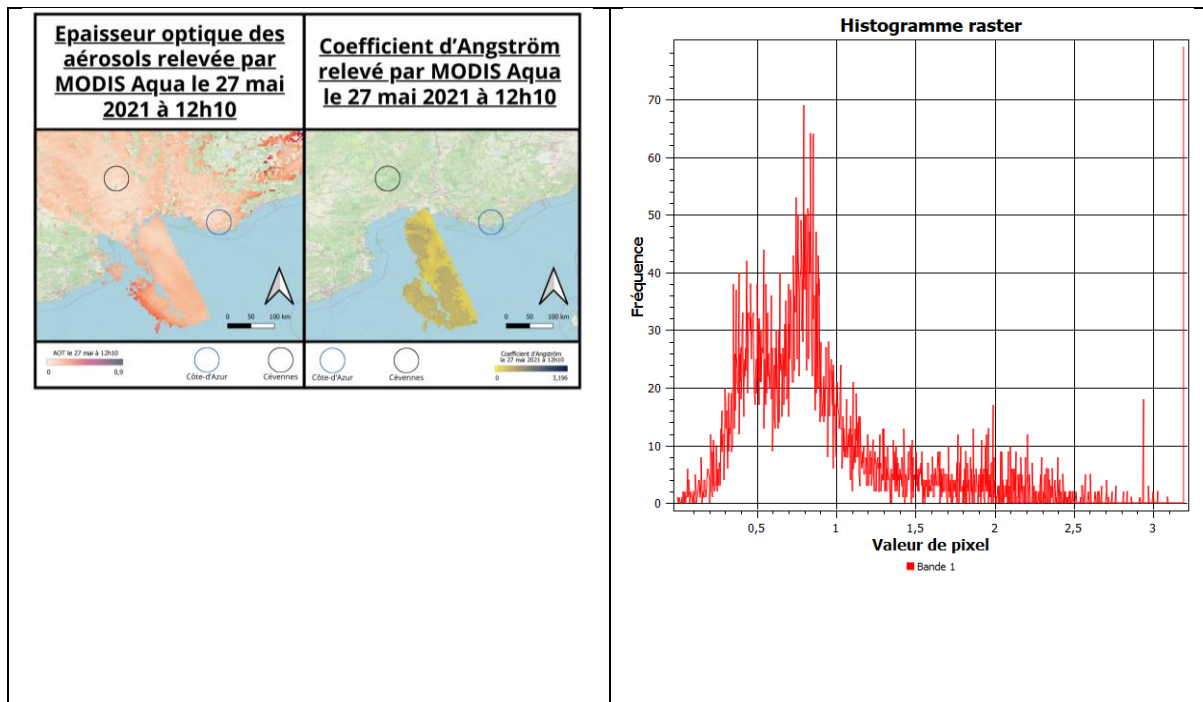
La réflectance rouge de la Côte d'Azur n'a qu'un mode allant jusqu'à 1,39 pour 203 individus, il y a donc majoritairement une réflexion de la lumière incidente de 1,4%. La réflectance du Proche-Infrarouge, en revanche, possède deux modes, l'un allant de 1.02 à 1,58 pour un maximum de 1,25 et 222 individus. L'autre mode s'étend de 2,52 à 4,74 avec un maximum de 3,32 concernant 275 pixels. Nous pouvons voir sur les histogrammes des Cévennes qu'il y a un mode pour chaque longueur d'onde. Celui de la longueur d'onde rouge a un mode à 1,55 et concerne 997 individus, on en déduit donc une réflexion de la lumière incidente de 1,5% en majorité. La longueur d'onde du proche infrarouge, quant à elle, connaît un mode à 2.90 pour 245 pixels.

### Partie sur le traitement des images (6p)

Les conditions météorologiques jouent un rôle essentiel en ce qui concerne la formation des aérosols puisque, lorsque les précipitations sont nulles ou quasi-nulles et que le vent est faible, les polluants ont tendance à s'accumuler en mer. Lorsque le vent se lève, il les entraîne alors, ce qui peut mener à un certain enrichissement de ces aérosols par d'autres polluants (Garrec et Sigoillot, 1992).

Aussi, le climat méditerranéen est généralement marqué par des été chauds et secs, des hivers doux et des épisodes pluvieux occasionnels durant le printemps et l'automne. Ces deux saisons, par leurs conditions, sont les plus favorables à la croissance des espèces végétales. Sans oublier les vents violents fréquents, caractéristiques des régions méditerranéennes. (MétéoFrance, 2023).





Dans le but de pouvoir nous rendre compte de la répartition des aérosols sur nos deux zones d'étude, nous avons ouvert les images en AOT issues de la plateforme de téléchargement de MODIS avec QGIS en sélectionnant Image\_Optical\_Depth\_Land\_And\_Ocean. Ces images sont observables dans les encadrés comportant les titres "épaisseur optique des aérosols". A cela, nous avons ajouté le coefficient d'Angström qui exprime la quantité d'aérosols dans l'atmosphère en sélectionnant Angstrom\_Exponent\_1\_Ocean. Celui-ci contient de l'information sur la taille du diffuseur. Un coefficient d'Angström de 4 est plutôt destiné aux molécules qui diffusent tandis que les aérosols du mode grossier ont des valeurs proches de 0, voire négatives. Aussi, les aérosols marins sont réputés pour être grossiers : nous remarquerons donc leur présence par de faibles valeurs de coefficient d'Angström.

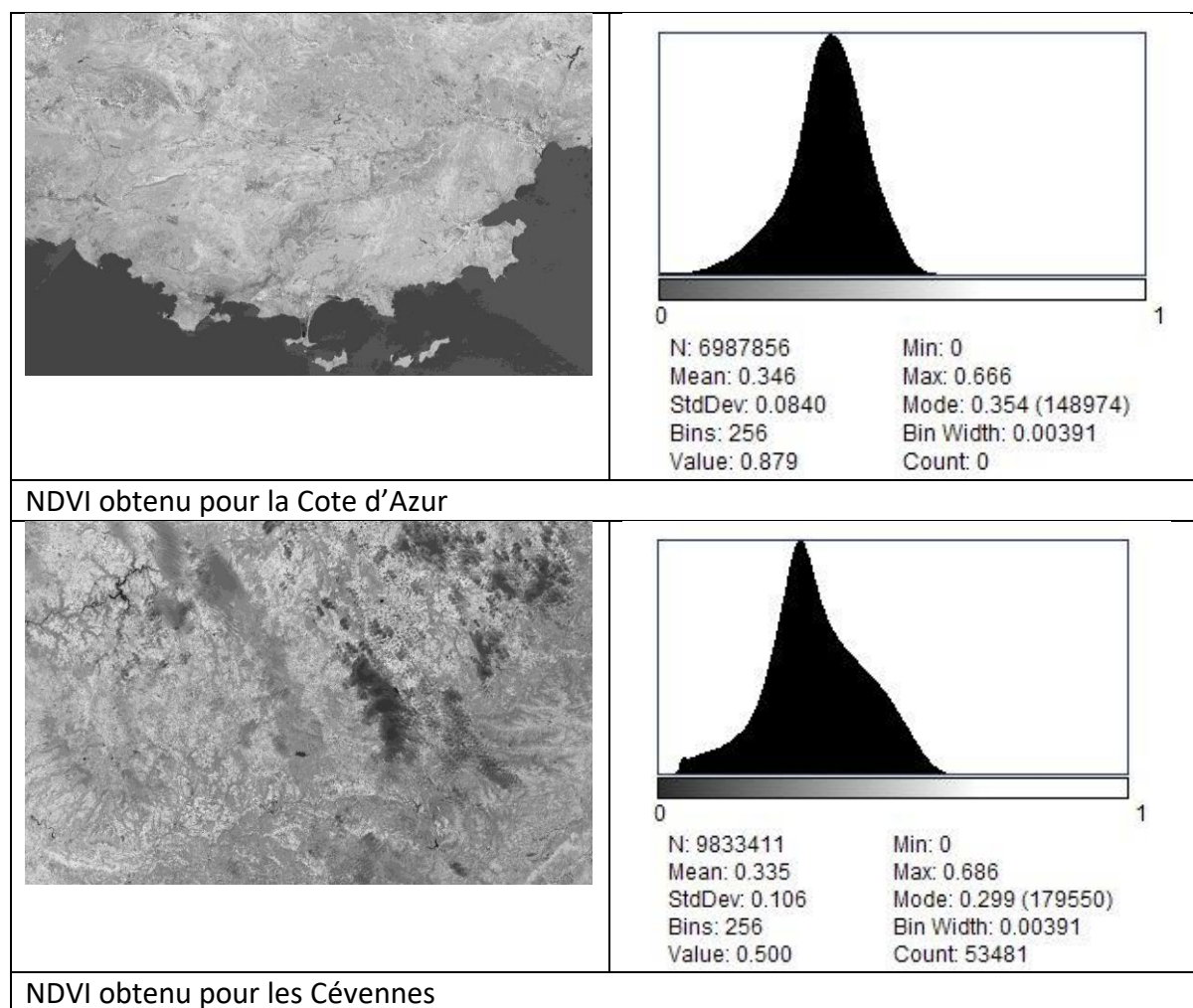
En observant les cartes réalisées, nous remarquons que les aérosols sont présents dans nos deux zones d'étude avec des valeurs relativement faibles et dans la moyenne des AOT sur terres émergées donc l'atmosphère était relativement claire avec des valeurs autour de 0,2 le 1er avril 2021 et légèrement moins le 27 mai 2021 avec des valeurs proches de 0,1. Pour autant, les embruns marins se localisent quant à eux à proximité des côtes, ce qui explique pourquoi aucun embrun marin n'est recensé dans la zone des Cévennes que nous avons matérialisée pour les deux dates considérées. Cependant, du côté de la côte méditerranéenne, le constat n'est pas le même. En effet, les différentes cartes nous montrent qu'aux périodes printanières les embruns marins sont présents, de manière non négligeable, le long de la côte au vu des nombreuses faibles valeurs pour le coefficient d'Angström qui sont présentes sur les histogrammes associés aux cartes majoritairement inférieures à 1 pour le 27 mai et sur une gamme de valeurs plus vaste pour le 1er avril allant de 0 à presque 2 pour les valeurs les plus représentées par les pixels. Pourtant, le 27 mai 2021 à 12h10 les embruns



marins n'étaient ni présents dans les Cévennes, ni sur la Côte d'Azur, mais plutôt au niveau de la côte qui borde Montpellier.

Les images traitées ci-dessous sont donc celles des NDVI pour la Côte d'Azur et les Cévennes. Elles ont été obtenues avec la formule suivante :

$$\text{REF\_PIR} - \text{REF\_Rouge} / \text{REF\_PIR} + \text{REF\_Rouge}$$



Le NDVI de la côte possède un seul mode qui s'étend de 0,34 à 0,66 avec pour maximum 0.354, ce qui ne concerne pas moins de 148 individus. Le NDVI des Cévennes a également un seul mode qui s'étend sur un plus large panel de 0.33 à 0.68. Ici, la valeur la plus représentée est 0,299 avec 179 individus.

En d'autres termes cela signifie que l'activité végétative est plus forte sur la côte que dans les Cévennes. Toutefois, les Cévennes ont une activité végétative qui varie plus en raison de l'emprise plus grande de la zone. Cependant, bien que le mode de la côte dépasse celui des Cévennes, il ne faut pas oublier que cela concerne uniquement 148 pixels ce qui est déjà bien inférieur aux 179 individus du mode des Cévennes. La forme également de l'histogramme vient contredire cette première analyse. Celui de la côte est très fin, donc finalement, très

peu d'individus sont concernés par un NDVI supérieur à 0,4. A l'inverse, celui des Cévennes a une base plus large, l'activité végétative de la zone s'en retrouve donc nettement supérieure.

Dans ce contexte, les embruns marins affectent principalement les zones côtières en raison de leur proximité avec l'eau salée. C'est pourquoi les Cévennes, situées à l'intérieur des terres et loin de la côte, ne sont pas impactées par ce phénomène. Cependant, toutes les côtes ne sont pas exposées de la même manière à ce phénomène. Les régions côtières plus tourmentées et accidentées sont généralement moins touchées par les embruns marins que les zones côtières basses et largement ouvertes aux vents de mer.

Malgré l'impact direct des embruns marins, les indices de végétation révèlent une activité végétative satisfaisante le long de la côte. Cependant, cette activité est généralement inférieure à celle observée dans les Cévennes.

Il convient toutefois de noter que le nombre d'individus végétaux le long de la côte est nettement réduit par rapport à celui des Cévennes. Cela suggère que malgré une activité végétative favorable, l'impact des embruns marins sur la végétation côtière est significatif. De plus, les aérosols marins peuvent être contaminés par des polluants de toute sorte, ce qui peut aggraver cet impact sur la végétation.

En outre, l'urbanisation croissante le long de la côte est un facteur que l'on ne peut négliger, cela contribue également à réduire la surface végétale disponible.

## Discussion (1p)

Les résultats ainsi obtenus mettent en lumière une activité végétative qui semble à peu près similaire sur les deux zones comparées (Côte d'Azur et Cévennes). Or, ce résultat paraît dénoter avec le dépérissement de la végétation littorale actuellement observé. Cela pourrait probablement s'expliquer par le fait que **notre travail considère une emprise très large et ne se résume pas à la seule côte méditerranéenne** (prise en compte de l'arrière-pays). En effet, l'INRA de Nancy a par exemple mis en évidence une corrélation entre la proximité des arbres avec la mer et le degré de dégradation de ces derniers, de sorte que *“les arbres atteints sont les arbres de première ligne, et les feuilles directement tournées vers la mer sont d'abord détruites”*. Cela souligne l'idée qu'une telle dégradation ne semble visible qu'à une échelle très fine et à une très haute résolution, difficilement obtainable par l'intermédiaire de capteurs satellitaires. De fait, pour répondre rigoureusement à notre problématique, il paraîtrait pertinent de coupler les images satellitaires (obtenues grâce à notre étude) à des analyses au sol / de terrain. De plus, nous aurions pu prendre une autre zone méditerranéenne peut-être plus exposée encore aux aérosols comme la côte italienne. En effet, il s'agit d'une zone où les aérosols sont très présents comme nous avons pu le voir au cours du semestre. Afin de s'adapter aux Cévennes nous aurions pu privilégier la côte de Montpellier, au sud des Cévennes. Comme dit en introduction, cette étude pourrait effectivement se généraliser. En résumé nous avons partiellement répondu à notre problématique.

La limite de ce sujet porte également sur les nombreux facteurs extérieurs qui sont à prendre en compte tel que l'urbanisation, la pollution, les incendies, etc... Tout cela contribue semblablement à une dégradation de la végétation au même titre que les embruns. Dans notre hypothèse, on ne peut donc pas réellement prouver que les embruns ont un impact fort mais il reste significatif malgré tout.

Il est probable que notre piste d'origine, à savoir privilégier une comparaison temporelle (entre 2001 et 2021) sur la Côte d'Azur par rapport à une comparaison spatiale, aurait été plus adaptée pour observer un possible déclin de la végétation sur le long terme et ainsi pouvoir répondre à notre problématique. En effet, nous aurions pu voir la dégradation de la végétation en prenant par exemple une période de 20 ans et en incluant différentes données d'aérosols pour ainsi démontrer les différentes expositions du secteur aux embruns marins bien que leurs impacts soient visibles depuis les années 50, période pour laquelle peu ou aucune donnée satellitaire n'est disponible.

## Conclusion

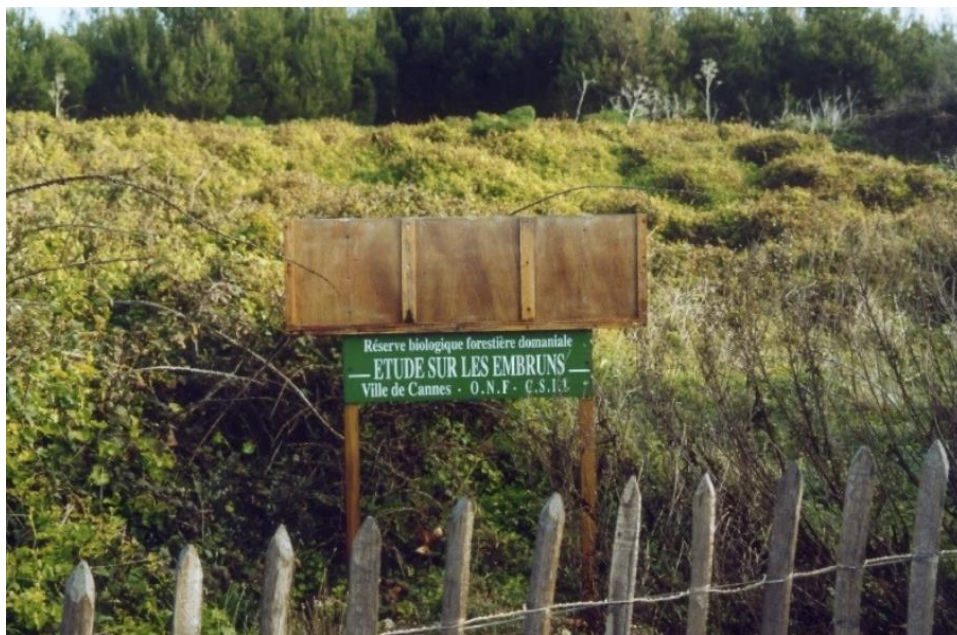
Pour conclure, les indices de végétation nous montrent explicitement une dégradation de la végétation. Ce déclin le long des zones côtières peut être attribué en partie aux embruns marins. Cependant, il est nécessaire de comprendre que la dégradation de la végétation est plus complexe et influencée par plusieurs autres facteurs.

Tels que, l'urbanisation croissante le long des côtes qui exerce une pression importante sur les écosystèmes côtiers. La construction de villes, de routes, de ports et d'autres infrastructures entraîne la perte d'habitats naturels et réduit la surface disponible pour la végétation. Ensuite, le changement climatique joue un rôle majeur dans la santé des écosystèmes côtiers. Les températures plus élevées, les variations des précipitations et les événements météorologiques extrêmes peuvent perturber les cycles de croissance des plantes, augmenter le stress hydrique et favoriser la propagation de maladies et de ravageurs mais aussi engendrer des changements en ce qui concerne les embruns marins puisque comme nous avons pu le voir au cours de cette étude, les conditions météorologiques jouent un rôle important dans la formation des aérosols. Ces conditions climatiques changeantes peuvent aussi affaiblir la végétation côtière et la rendre plus vulnérable aux effets néfastes des embruns marins. De plus, la présence d'aérosols phytotoxiques dans l'atmosphère peut également contribuer au déclin de la végétation côtière. Ces substances chimiques, souvent issues de sources industrielles ou de la combustion de carburants fossiles, peuvent avoir des effets nocifs sur la croissance et la santé des plantes. Lorsqu'ils sont transportés par les embruns marins et déposés sur les feuilles et les sols, ces aérosols peuvent causer des dommages supplémentaires à la végétation côtière. Alors que la pollution des embruns marins y contribue, il est important de considérer d'autres facteurs pour comprendre pleinement les défis auxquels sont confrontés les écosystèmes côtiers et élaborer des stratégies efficaces de conservation et de restauration.

La télédétection a très clairement permis de comparer l'exposition aux aérosols de nos zones d'études avec les données relevées par MODIS. Les images satellites de LANDSAT nous permettent, quant à elles, de procéder au calcul de l'indice de végétation. L'utilisation de la

télédétection nous a principalement permis de prendre la zone d'étude que nous désirions grâce aux nombreuses données disponibles. Cela nous permet également de créer les données personnalisées à notre problématique.

En général, ce projet nous a appris à trouver des images MODIS et LANDSAT. Nous avons également manipulé de nouveaux outils sur Qgis et sur Fiji (ImageJ). Nous avons ainsi gagné en autonomie et en confiance. Ce projet a également été l'occasion de communiquer et de partager nos connaissances respectives afin de la mener à bien.



Source : Conseil Scientifique des Îles de Lérins

Biblio :

- <https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine>
- Pierre-Marie Badot, Jean-Pierre Garrec. Dépérissement local du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) le long du littoral méditerranéen. *Revue forestière française*, 1993, 45 (2), pp.134-140.
- Linda Stammiti et Jean-Pierre Garrec. Arbres du littoral, arbres en péril ? Deux exemples de dépérissement des arbres en bordure du littoral français, INRA, centre de Recherches forestières de Nancy, laboratoire d'étude de la Pollution atmosphérique.

- Jean-Pierre Garrec. Les dépérissements littoraux d'arbres forestiers. *Revue forestière française*, 1994, 46 (5), pp.454-457.
- Office National des Forêts
- Conseil Scientifique des Îles de Lérins, Effet des embruns marins dispersés autour des îles de Lérins sur la végétation littorale.