



HAL
open science

Contribution à l'identification des cyprès dans les régions Languedoc Roussillon et PACA par analyse d'image à très haute résolution spatiale

Ming Zhi Zhou

► **To cite this version:**

Ming Zhi Zhou. Contribution à l'identification des cyprès dans les régions Languedoc Roussillon et PACA par analyse d'image à très haute résolution spatiale. Sciences agricoles. 2012. dumas-00755802

HAL Id: dumas-00755802

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00755802v1>

Submitted on 22 Nov 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AGROCAMPUS OUEST

CFR de Rennes*

65, rue de Saint briec
35042 RENNES Cedex

L'UNIVERSITE RENNES 2*

Place du recteur Henri Le Moal
CS 24307
35043 RENNES cedex

INRA PACA*

Domaine Saint-Paul
Site Agroparc
84914 Avignon Cedex 9

Annexe II bis – Page de couverture

Mémoire de Fin d'Études*

**Master de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires,
Horticoles et du Paysage ***

Année universitaire : 2011-2012

Spécialisation ou option* : TASE (Téledétection et Analyse Spatiale en Environnement)

**Contribution à l'identification des Cyprès dans les régions Languedoc Roussillon et PACA
par analyse d'image à très haute résolution spatiale***

Par : Mingzhi ZHOU*

Devant le jury : C.Pichot, H.Nicolas, L.Hubert-Moy, S.Gorgne, T.Guyet

Soutenu à Rennes le* :06/07/2012

*Sous la présidence de** : H.Nicolas

Maître de stage* : Christian PICHOT

Enseignant référent * :

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent
que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".

* champs obligatoires

SOMMAIRE

RESUME.....	4
REMERCIEMENTS.....	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. CONTEXTE	8
2.1. Pollinose et bulletins polliniques	8
2.2. Les Cyprès	8
2.2.1. Cyprès sempervirents.....	9
2.2.2. Cyprès de l'Arizona.....	10
2.3. Pr évision des émissions de pollen : «Cartopollen ».....	11
2.4. La télédétection.....	12
2.4.1. Rayonnement électromagnétique.....	12
2.4.2. Résolution du capteur.....	13
3. MATERIEL.....	15
3.1. Présentation de la zone d'étude.....	15
3.1.1. Languedoc Roussillon.....	15
3.1.2. PACA.....	15
3.2. Les données disponibles et leur valorisation.....	16
3.2.1. Les photos aériennes.....	16
3.2.2. Les couches d'occupation du sol	16
3.2.3. Le Modèle Numérique de Terrain.....	17
3.2.4. BD CARTO de l'IGN.....	17
3.3. Logiciels d'analyse d'image et traitement statistique.....	17
3.3.1. QGIS-GRASS.....	17
3.3.2. eCognition.....	18
3.3.2.1. Segmentation.....	18
3.3.2.2. Classification.....	19
3.3.3 R.....	19
4. METHODE.....	19
4.1. Stratégie d'échantillonnage.....	20
4.2. Traitement des images.....	22

4.2.1. Traitement primaire sous eCognition.....	22
4.2.1.1. Segmentation.....	22
4.2.1.2. Classification non-supervisé et supervisé.....	22
4.2.2. Traitement sous QGIS-GRASS.....	23
4.2.3. Traitement secondaire sous eCognition.....	23
4.3. Analyse statistique.....	23
4.4. Estimation de la densité cyprès.....	24
5. RESULTATS ET DISCUSSION.....	26
5.1. Résultat du traitement d'image.....	26
5.1.1. Résultat du traitement primaire sous eCognition.....	26
5.1.2. Résultat du traitement sous QGIS-GRASS.....	26
5.1.3. Résultat du traitement secondaire sous eCognition.....	27
5.2. Vérification des résultats de la classification.....	28
5.3. Recherche des facteurs explicatifs par analyse statistique.....	30
5.4. Résultat de la cartographie de la densité de cyprès.....	33
5.5. Problèmes rencontrés.....	35
6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	35
BIBLIOGRAPHIES.....	37
GLOSSAIRE ET LISTE DES PRINCIPAUX SIGLES UTILISES.....	39
ANNEXE.....	40
ANNEXE I : Classe d'occupation du sol par OCSOL-2006.....	41
ANNEXE II : Comparaison de différentes cartes concernant l'allergie au pollen de cyprès.....	44
ANNEXE III : Cartographie de la zone Biogéographique en région méditerranéenne.....	45
ANNEXE IV : Prédiction des émissions de cyprès en région LR (J-J+3).....	46
ANNEXE V : Fonction d'appartenance testées sous eCognition.....	48
ANNEXE VI : Schéma de la segmentation et classification sous eCognition.....	49
ANNEXE VII : Présentation en relief de la densité de cyprès.....	50

RESUME

La prévalence des pathologies allergiques, et des pollinoses en particulier, n'a cessé d'augmenter au cours des dernières décennies dans les pays industrialisés. En France, l'allergie au pollen des Cupressacées s'est développée dans la zone méditerranéenne au point de devenir la première allergie. Un outil «CartoPollen» de prévision spatio-temporelle des émissions de pollen en région Languedoc Roussillon a été développé en 2009. CartoPollen repose sur l'intégration dans un Système d'Information Géographique (SIG) des facteurs (végétation et climat) déterminant la production de pollen. Le présent projet vise à améliorer l'outil en précisant les sources de pollen. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'identification des cyprès dans les régions Languedoc Roussillon et PACA par télédétection à partir d'images à très haute résolution spatiale. Nous avons adopté une approche pluridisciplinaire associant télédétection, Système d'Information Géographique, écologie, statistique et l'utilisation d'un Système de Gestion de Base de Données. La densité de cyprès en zone agricole, exprimée en surface et en longueur de haies, a été évaluée sur 58 zones de 4 km² de 6 départements des régions LR et PACA. Une analyse de variance montre que la densité de cyprès varie en fonction du département, de l'activité agricole et de l'altitude. Ces résultats ont été utilisés pour estimer sur l'ensemble des 6 départements la densité de cyprès. La carte obtenue révèle de fortes densités dans la vallée du Rhône, le sud du Gard et les plaines côtières de l'Aude et des Pyrénées Orientales.

Mots-clés : allergie, cyprès, Cartopollen, occupation du sol, télédétection

REMERCIEMENTS

J'ai eu l'opportunité de travailler pendant six mois en tant que stagiaire au sein de l'INRA PACA (Institut National de la Recherche Agronomique) à Avignon. Il m'est offert ici, par ces quelques lignes, la possibilité de remercier les personnes qui ont contribué à faire de ce stage un «bon stage».

Dans un premier lieu, je tiens tout d'abord à remercier AGROCAMPUS OUEST de Rennes qui, par l'intermédiaire du Master Espace Environnement Mention de la Télédétection et Analyse Spatiale en Environnement m'a permis de réaliser ce stage. J'adresse également mes remerciements à l'ensemble des professeurs du Master II pour l'enseignement qu'ils m'ont apporté.

Dans un deuxième lieu, je tiens tout particulièrement à remercier mon maître de stage Monsieur Christian Pichot, chercheur de l'unité Ecologie des Forêts méditerranéennes URFM, pour sa disponibilité, ses compétences et son suivi tout au long du stage.

Dans un troisième lieu, mes remerciements sincères vont également à Monsieur Michel Moulery qui est le responsable informatique dans l'Unité de Recherche- «écodéveloppement» (INRA-PACA), pour son invitation au séminaire SIG et l'accueil agréable pendant le stage. En même temps, merci à tout le personnel qui participé à ce séminaire, pour l'accueil, la capacité de travail en équipe exemplaire.

Ensuite, je voudrais remercier Monsieur Laurent Mougin et Madame Annie Foll, secrétaires de l'unité URFM, pour leurs renseignements.

Après, Je tiens à remercier à Madame Valérie Reno, informaticienne de l'URFM, pour le soutien technique informatique.

Puis, je voudrais remercier Monsieur Roberto Meloni, ingénieur de recherche dans la maison de télédétection à Montpellier, pour le co-encadrement qu'il a apporté et la formation au logiciel eCognition.

Pour finir, mes derniers remerciements vont à toute l'équipe de l'INRA Avignon PACA pour leur gentillesse. Pendant toute la durée de mon stage à INRA, l'aide et la compréhension des personnes qui m'entouraient ont été précieux. Ils ont eu la gentillesse d'interrompre souvent leur travail pour me fournir les informations nécessaires au bon déroulement de mon stage et m'ont ainsi permis d'acquérir de nouvelles connaissances. D'une façon plus générale, je remercie l'ensemble des personnes de l'INRA, pour l'intérêt qu'ils m'ont porté tout au long de mon stage.

1. INTRODUCTION

Ce stage a été effectué à l'Unité d'Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM) de l'INRA PACA, l'Institut National de la Recherche Agronomique du centre de recherche en Provence-Alpes-Côte d'Azur. L'URFM dépend du département Ecologie des Forêts, Prairies et Milieux Aquatiques de l'INRA. L'unité mène des recherches pluridisciplinaires en écologie pour une gestion durable des écosystèmes forestiers méditerranéens dans le contexte du changement global. Mes travaux s'inscrivent dans le cadre du projet «CartoPollen », développement d'un outil de prévision spatio-temporelle des émissions de pollen : application aux Cupressacées en région PACA, financé par l'Agence Régionale de Santé PACA, appel à projets 'Santé Environnement 2011' (PRES PACA 2009-2013).

L'allergie au pollen des Cupressacées dans ces dernières décennies s'est développée dans la zone méditerranéenne de la France. Cette allergie constitue un des rares cas de pollinose hivernale. Du point de vue manifestations cliniques, les rhinites et conjonctivites sont plus fréquentes que l'asthme. Il y a eu une augmentation progressive des concentrations totales et annuelles de pollens de Cupressacées. La raison de cet accroissement est due à l'accroissement parallèle des plantations de ces arbres et probablement aussi aux modifications du climat et l'effet de serre qui augmentent la production des pollens et leur concentration dans l'air ambiant. [2]

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Unité de Palynologie de Montpellier SupAgro et avec le soutien du GRSP Languedoc-Roussillon, l'URFM a développé un outil «Cartopollen » de prévision et de cartographie spatio-temporelle des émissions de pollen de cyprès dans la région Languedoc-Roussillon. Cet outil est fonctionnel depuis janvier 2010. Les prévisions d'intensité de la pollinisation sont élaborées à partir des équations phénologiques de la pollinisation, des températures et d'une estimation de la densité locale de cyprès. Présentées sous forme de cartes régionales, les prévisions sont également disponibles à l'échelle communale. [14]

Les sources de pollen correspondant à des cyprès isolés, en haies ou beaucoup plus rarement en populations sont actuellement évaluées à partir des cartes d'occupation des sols (Corine Land Cover) et de la densité de cyprès estimées à dire d'experts pour ces différents types d'activités et par grandes régions écologiques.

Dans le cadre du présent projet cofinancé par l'Agence Régionale de Santé (ARS) PACA, il est proposé d'améliorer l'estimation de la densité de cyprès sur le territoire à partir de l'analyse de photos aériennes Infra Rouge Couleur de l'IGN avec la résolution spatiale de 0.5m et d'effectuer des validations en s'appuyant d'une part sur des visites de terrains et d'autre part sur des navigations virtuelles à l'aide de Google-Map-StreetView.

L'analyse de photos est effectuée à l'aide des logiciels eCognition et GRASS. L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel R.

L'objectif de cette étude est de contribuer à la détection des cyprès dans les régions Languedoc Roussillon et PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Nous visons à améliorer l'outil CartoPollen et étendre son utilisation à la région PACA.

Le présent rapport est organisé en cinq parties principales :

La première partie introduit le contexte de l'étude. Nous présenterons d'abord le contexte historique et actuel ainsi que les besoins exprimés dans le cadre de projets de recherche. Nous indiquerons la problématique rencontrée. Ensuite, nous introduirons les espèces principales (cyprès vert et bleu) de notre recherche. Enfin, nous rappellerons quelques notions élémentaires sur la télédétection et les images à très haute résolution spatiale.

Dans la seconde partie, nous présenterons la localisation de cette étude, et puis nous parlerons des données disponibles fournies par différents instituts ou associations, ainsi que des logiciels que nous utiliserons.

La troisième partie constitue une application des méthodes pour la contribution à la détection des cyprès dans des images de télédétection à THRS. Plusieurs étapes permettront de détecter et localiser les ombres de cyprès dans les zones agricoles et d'enregistrer ces informations dans des bases de données.

La quatrième partie, décrit les résultats obtenus et leur analyse statistique. Nous rechercherons les facteurs (distance de la mer, altitude, niveau de la classe d'occupation du sol, département...) qui influencent la densité de cyprès.

En dernière partie, nous discuterons les problèmes rencontrés et certaines perspectives de cette étude.

2. CONTEXTE

2.1. Pollinose et bulletins polliniques

La prévalence des pathologies allergiques, et des pollinoses en particulier, n'a cessé d'augmenter au cours des dernières décennies dans les pays industrialisés. Nous estimons globalement que 15% des européens [1] et 17% des américains (National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID), 2003) sont allergiques. Les études épidémiologiques récentes soulignent l'augmentation du nombre d'habitants sujets à ces maladies allergiques qui causent une souffrance aux personnes et des coûts pour les collectivités. Dans le cadre du PRSE1 (Programme Régional Santé-Environnement), l'étude régionale MEDIPOLL a montré que le coût annuel de la consommation médicamenteuse pour les allergies aux Cupressacées atteignait 6, 000,000 d'euros en Languedoc Roussillon. [3]

Les bulletins polliniques actuellement diffusés par le RNSA (Réseau National de Surveillance Aérobiologique) et les ASQUA (Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) concernent la pollinisation de la semaine qui précède et donnent des tendances nationales pour les jours à venir, basés sur les prévisions météorologiques à 7 jours. Les informations communiquées restent générales et ne permettent pas aujourd'hui d'évaluer la variabilité de l'exposition aux échelles régionales et locales [12]. Le projet «CartoPollen» a pour objectif d'informer la population en fournissant des prévisions spatio-temporelle de la pollinisation.

2.2. Le Cyprès

La famille des Cupressacées est représentée par les genres *Cupressus* (cyprès), *Juniperus* (genévrier) et *Thuja* (thuya). Dans cette étude, nous travaillerons sur le premier genre : cyprès, qui est, en zone méditerranéenne française, à l'origine de la majorité du pollen. [18]

Le cyprès occupe une large place dans le pourtour méditerranéen. Nous le retrouvons beaucoup en France méridionale car il est utilisé pour la création de haies brise vent. Nous le rencontrons aussi en ornement et dans les cimetières car son bois, présumé imputrescible, est considéré comme un symbole d'immortalité.

Les cyprès les plus fréquemment rencontrés en France sont le cyprès vert commun (*Cupressus sempervirens*) et le cyprès de l'Arizona (*Cupressus arizonica*). Dans la région méditerranéenne, le pollen de cyprès est à l'origine de sévères conjonctivites, de rhino-conjonctivites et d'asthmes allergiques. Selon l'année et le lieu, le cyprès vert pollinise entre janvier et fin avril, durant environ deux mois. Mais à cause du réchauffement climatique ou d'événements particuliers (extrême froid...), la date de pollinisation peut être plus précoce ou tardive. En effet quand la température est inférieure à 3 °C, la pollinisation s'arrête. Les cyprès ont un potentiel allergisant fort (Figure 1(B)), ils sont la première cause d'allergie dans le quart Sud-est de la

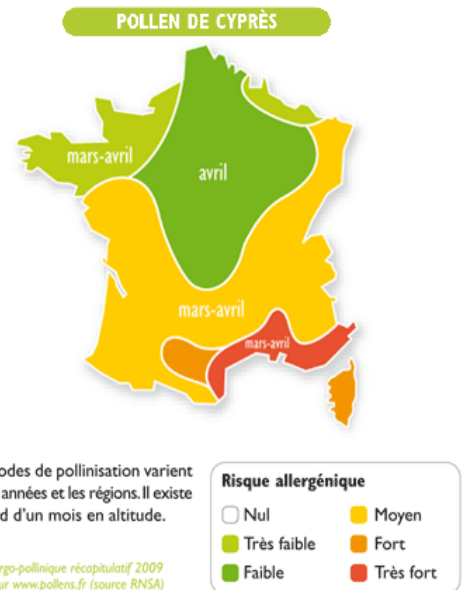
Potentiel allergisant

	RNSA (de 0 à 5)	Plantes, Pollen & Allergies (de + à +++)	Pollen & Allergies (de 1 à 4)	Synthèse (1 à 5)
ARBRES				
Aulne	4	+++	2	4
Bouleau	5	+++	4	5
Charme	3	+++	3	3
Châtaignier	2	++	1	2
Chêne	4	++	3	2
Cyprés	5	+++	4	5
Erable			3	
Frêne	4	+++	3	4
Hêtre	2	++	3	2
If		+	1	1

5	Très allergisant
4	Allergisant
3	Allergisant
2	Faiblement allergisant
1	Très peu allergisant
	Allergénicité mal connue

RNSA : Réseau National de Surveillance Aérobiologique
 Plantes, Pollen & Allergies. F. Felber et al. Univ. de Neuchâtel Ed., 2003
 Pollen et Allergie. B. Guerin et al. Allergie Ed., 1993

(A)



(B)

Figure 1 : (A) Potentiel allergisant par espèces ; (B) Période de pollinisation du cyprès

2.2.1. Le cyprès sempervirent

Introduit depuis plusieurs siècles, le cyprès sempervirent (cyprès vert, cyprès de Provence ou cyprès méditerranéen) se rencontre dans toutes les zones basses du pourtour méditerranéen français mais également en Italie. On le trouve souvent en limite de zones agricoles ou en alignement dans les parcs ou les propriétés, où leur forme particulière en fuseau marque les paysages. Il est également couramment utilisé comme haie dans les lotissements ou comme brise-vent pour lutter contre le Mistral et la Tramontane en Provence et en Languedoc. (Figure 2)

C'est une essence exigeante en chaleur, qui craint les grands froids. Elle est, par contre, très plastique du point de vue des exigences édaphiques et se rencontre à la fois sur des sols acides ou calcaires. Cette essence préfère les sols profonds et drainants (dominante sableuse ou limoneuse), elle supporte mal les terres argileuses ou trop gorgées d'eau. Néanmoins, le cyprès vert tolère les sols superficiels (moins de 50cm, voire 30cm) et caillouteux, pour peu qu'ils soient fissurés (enracinement puissant et pivotant).

Peu exigeant en eau, il résiste aux sécheresses estivales mais sa croissance s'en ressent. Il craint peu le vent, surtout dans sa forme fuselé, mais cela crée une irrégularité dans les cernes de croissance. Le cyprès vert peut résister à des températures négatives allant jusqu'à -20 °C. Ce conifère préfère une exposition au soleil et tolère la mi-ombre. Tout à fait adapté à la sécheresse, et préfère un sol sec à un sol humide.

C'est une des essences les plus intéressantes pour valoriser les secteurs chauds des zones basses, où sa croissance est respectable. La durabilité naturelle, la rectitude et les excellentes propriétés mécaniques de son bois permettent de fournir des pièces de charpente de petite taille et des éléments de menuiserie, notamment en extérieur (porté, croisées, volets...).



(A)

(B)

(C)

(D)

(E)

Figure 2 : Présence du cyprès vert en zone méditerranéenne (A : Brise-vent ; B : Cyprès vert taillé ; C : Cyprès vert isolé ; D : Cyprès vert dans le parc ; E : Cyprès vert dans la ville)

2.2.2. Le cyprès de l'Arizona

Le cyprès de l'Arizona (*Cupressus arizonica*) porte également les noms de « cyprès glabre » et de « cyprès bleu ». Cette espèce a pris une extension forte importante en région méditerranéenne, surtout et d'abord en horticulture, en reboisement ensuite, et ce depuis quelques décennies. Elle a été découverte en 1880 par Edward Lee Greene dans les montagnes arides de l'Arizona, originaire du Sud-ouest de l'Amérique du Nord, ce conifère a été peu de temps après introduit en Europe, souvent cultivé comme arbre d'ornement.

Cette espèce arbore un très beau feuillage persistant bleu-argenté sa frondaison puissante et conique donne un aspect particulier. Son écorce brun rougeâtre et ses gros cônes ronds brun chocolat ajoutent une touche décorative non négligeable. Le cyprès d'Arizona ne supporte la taille que si elle est légère et superficielle. Il supporte le froid, et étant plus résistant face aux maladies que le cyprès vert, il le remplace parfois.

Le Cyprès de l'Arizona, essence très rustique considérée comme résistante aux agents cryptogamiques, *Coryneum* en particulier. On lui reprochera pourtant le grand « encombrement » de son houppier, et la zone très large de terrain prospectée par ses racines de part et d'autre du brise-vent. (Figure 3)

Il tolère tout type de sol argileux, humide, calcaire et sablonneux. Il apprécie les terrains ensoleillés. Il résiste très bien à la sécheresse. En région méditerranéenne, le cyprès bleu pollinise de décembre à février.

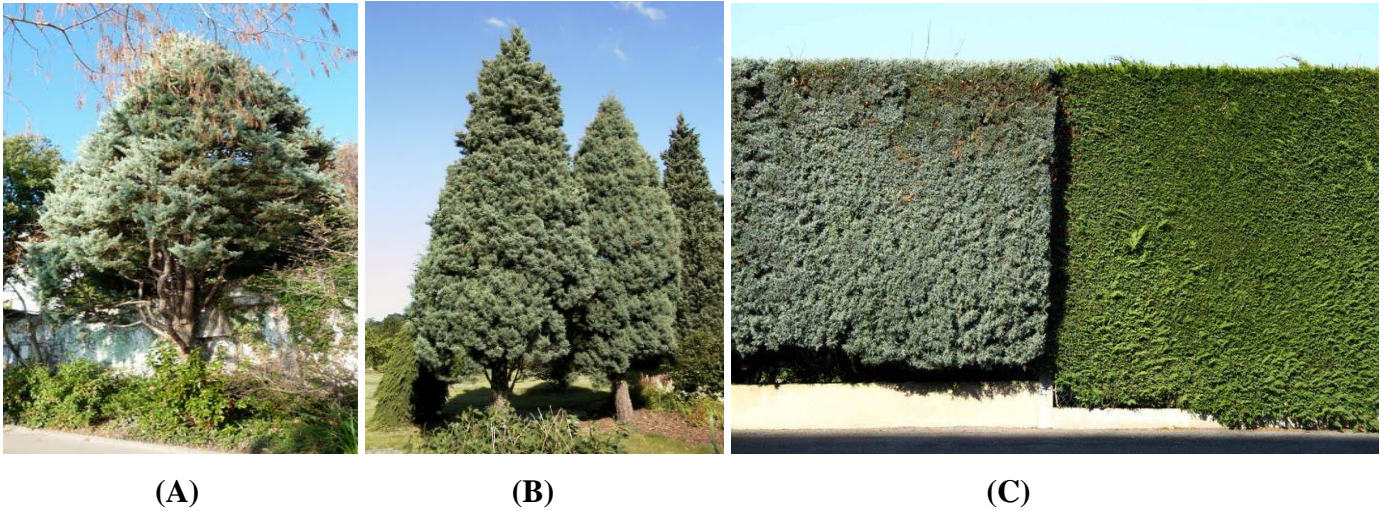


Figure 3 : *Présence de cyprès d'Arizona en zone méditerranéenne (A : Cyprès bleu dans le parc ; B : Cyprès bleu comme brise-vent ; C : Cyprès bleu et vert taillés;)*

2.3. Cartopollen

En 2009 un outil pilote «Carto-Pollen » de prévision spatio-temporelle des émissions de pollen a été développé dans le cadre d'un partenariat entre l'INRA PACA à Avignon et Montpellier Sup Agro (Projet cofinancé par le Groupement Régional de Santé Publique du Languedoc Roussillon). L'outil est basé sur l'intégration dans un Système d'Information Géographique (SIG) des 2 principaux facteurs qui déterminent la production de pollen : végétation et climat. L'objectif est de disposer d'informations à la fois locales et prévisionnelles permettant une mise en œuvre efficace des actions de préventions. Des améliorations sont actuellement apportées à cet outil (Figure 4).

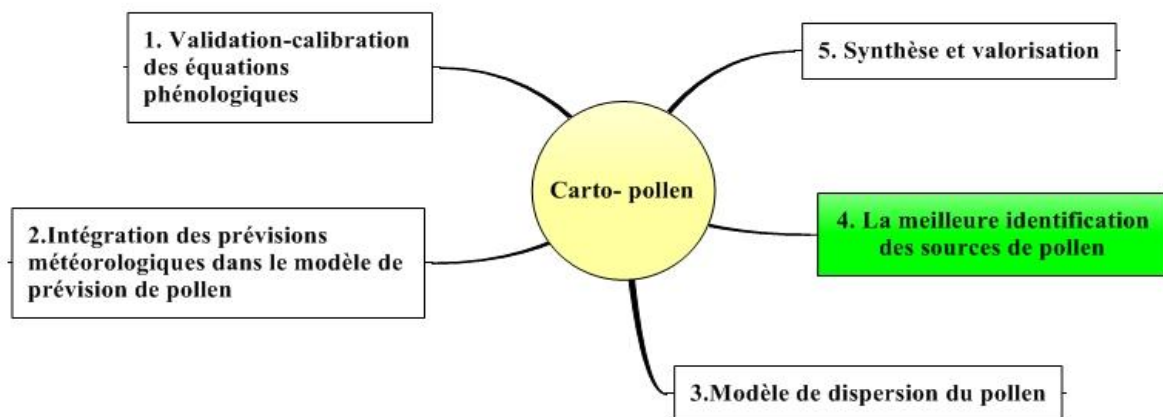


Figure 4 : *Mission du CartoPollen 2012*

Dans cette étude, nous étudions la composante concernant les sources de pollen. Par la télédétection et à l'aide des photos aériennes à THRS, nous cherchons à identifier les sources de pollen.

2.4. La télédétection

La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information [5]. Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels qu'urbanisme, agriculture, risque naturel etc. Les développements très rapides de cette science ne permettent pas d'en faire un panorama exhaustif.

2.4.1. Rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique se déplace à la vitesse de la lumière c . Il se caractérise par une longueur d'onde λ , liée à la fréquence ν par $c = \lambda \nu$. Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde, dont font partie les rayons gamma et les rayons X, aux grandes longueurs d'onde, micro-ondes et ondes radio. Le spectre visible représente la petite partie de l'ensemble du spectre électromagnétique à laquelle on peut associer la notion de couleur (figure 5). Le rouge, le vert et le bleu sont les trois couleurs primaires du visible. Une couleur primaire ne peut être obtenue par deux autres couleurs, mais toutes les autres couleurs peuvent être créées en combinant les couleurs primaires.

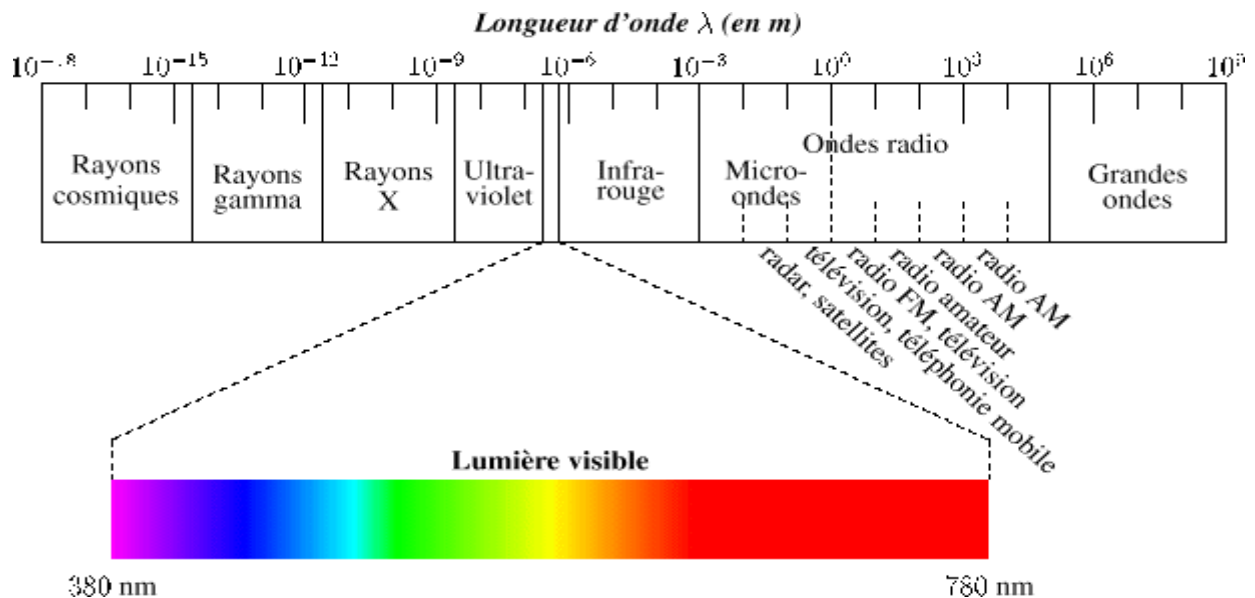


Figure 5 : Spectre électromagnétique

La courbe de réflectance d'un objet est définie par la quantité d'énergie qu'il réémet par rapport à celle qu'il reçoit, pour toutes les longueurs d'onde couvrant le spectre visible, voire le proche infrarouge et l'ultraviolet. La figure 6 donne certaines courbes de réflectance dans le visible et le proche infrarouge. Par exemple, la chlorophylle contenue dans les plantes absorbe fortement le rayonnement aux longueurs d'onde du rouge et du bleu, mais réfléchit le vert. Par ailleurs, la structure interne des feuilles en bonne santé agit comme

un excellent réflecteur pour les longueurs d'onde de l'infrarouge. Une baisse de réflectance dans l'infrarouge peut donc être le signe d'une baisse de vigueur de la plante [10]. En outre, le domaine de variation de la réflectance de la végétation dans le proche infrarouge est important ; ces longueurs d'ondes peuvent donc, dans certains cas, être utilisées pour différencier certaines espèces de plantes ou d'arbres. [4]

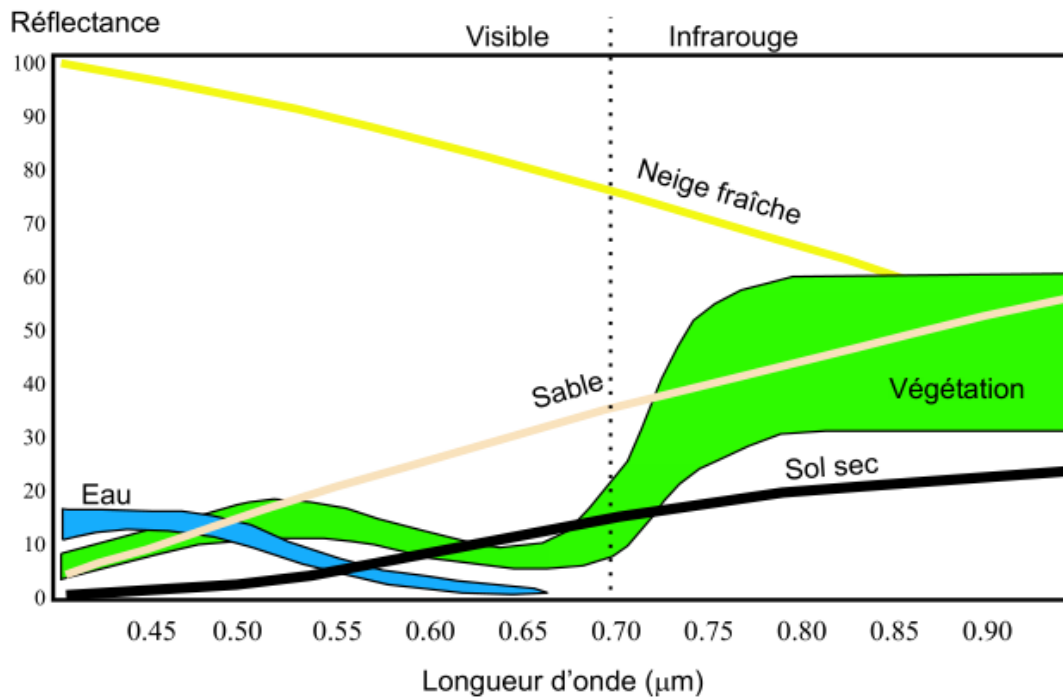


Figure 6 : *Les courbes de réflectance*

2.4.2. Résolution du capteur

La capacité de détection d'une chaîne d'acquisition à distance peut être quantifiée par différentes résolutions, telles que :

- **Spatiale** : taille du plus petit élément de mesure au sol. Elle correspond à la taille du pixel dans le cas d'une image numérique optique (comparable au grain sur une photographie argentique). Cette taille dépend de la distance du capteur à la cible et du nombre de pixels que contiennent ces images.

- **Spectrale** : nombre de bandes spectrales (segments du spectre électromagnétique) qui peuvent être enregistrés simultanément.

- **Radiométrique** : nombre de niveaux de gris disponibles pour coder l'intensité de la radiation mesurée dans une longueur d'onde donnée.

- **Temporelle** : laps de temps entre deux passages du capteur sur une même zone.

Les données de télédétection utilisées dépendent fortement de la nature des objets d'intérêt et du type d'étude menée. La section suivante décrit quelques caractéristiques des cyprès en Languedoc Roussillon et PACA, visibles sur les images aériennes.

Pour les photos aériennes à THRS, ils permettent de détecter les caractéristiques telles que la forme, la texture, la structure approche les objets. Sur la figure 7 nous voyons qu'au niveau de la couleur, les haies de platanes et les haies de peuplier ont la couleur rouge claire, les cyprès verts ont la couleur rouge foncé et cyprès bleus ont la couleur rose. Au niveau de la forme, les ombres des platanes ont une forme de la lune, et celles des peupliers ont la forme d'un long cône, les cyprès ont plutôt la forme régulière (Figure7).

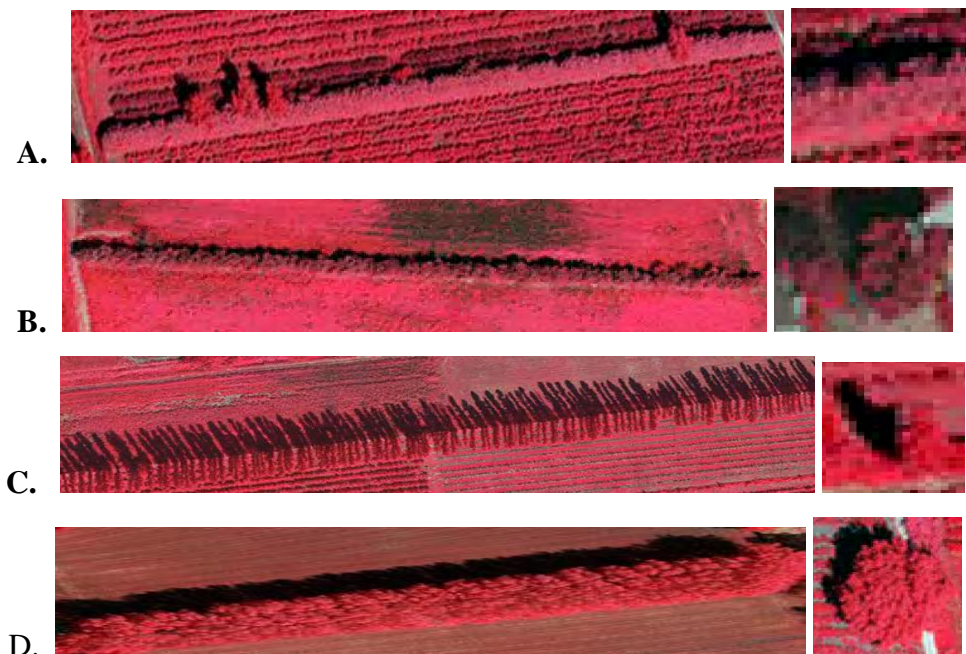


Figure 7 : Différentes formes, textures, structures entre différentes espèces sur la photo aérienne (A : haie des cyprès bleus ; B : haie des cyprès verts ; C : haie des peupliers ; D : haie des platanes)

Cependant, à moyennes et hautes résolutions spatiales, les pixels sont mixtes et le sol influence très largement sur leur radiométrie [9]. Ces approches fournissent alors des résultats satisfaisants pour les zones étudiées, mais peuvent difficilement être généralisées à d'autres régions ou à des zones moins homogènes du point de vue des pratiques culturales et du sol. Un moyen de limiter le problème de l'influence du sol à moyenne résolution spatiale est de multiplier les données en utilisant une classification sur des images multi-temporelles. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'une très haute résolution spatiale. La très grande augmentation des disponibilités en données de télédétection à THRS offre un grand nombre de nouvelles applications. Les haies de cyprès en zone agricole devient visible, permettant de plus grandes possibilités de discrimination ou caractérisation. Cependant, il devient nécessaire de développer de nouvelles approches de traitement d'images, non exclusivement basées sur la réflectance des cyprès, mais également sur sa forme, texture et radiométrie.

3. MATERIEL

3.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude concerne les deux régions de sud-est de la France, Languedoc Roussillon et PACA. La superficie est de 58 776 km².

3.1.1. Languedoc Roussillon

Le Languedoc Roussillon est une région qui se compose de cinq départements et couvre 27 376 km². Bordée au sud par l'Espagne, Andorre et la mer Méditerranée, elle est limitée par différents éléments naturels, que sont, d'Ouest en Est : les Pyrénées, le seuil du Lauragais et les Cévennes, qui sont des massifs montagneux. Le fleuve Rhône délimite la région sur son côté Est. La géographie du Languedoc Roussillon est très diverse et ses paysages nombreux et variés, comportant hautes et moyennes montagnes, plaines de garrigue et littoral maritime.

La région de Languedoc Roussillon est très contrastée et n'a pas d'unité géographique et culturelle à l'image de ses voisines Midi-Pyrénées et PACA. La région relève majoritairement du climat méditerranéen. L'été chaud et sec, l'hiver doux. Les cyprès sont bien adaptés à ce climat méditerranéen (Figure 8). [17]

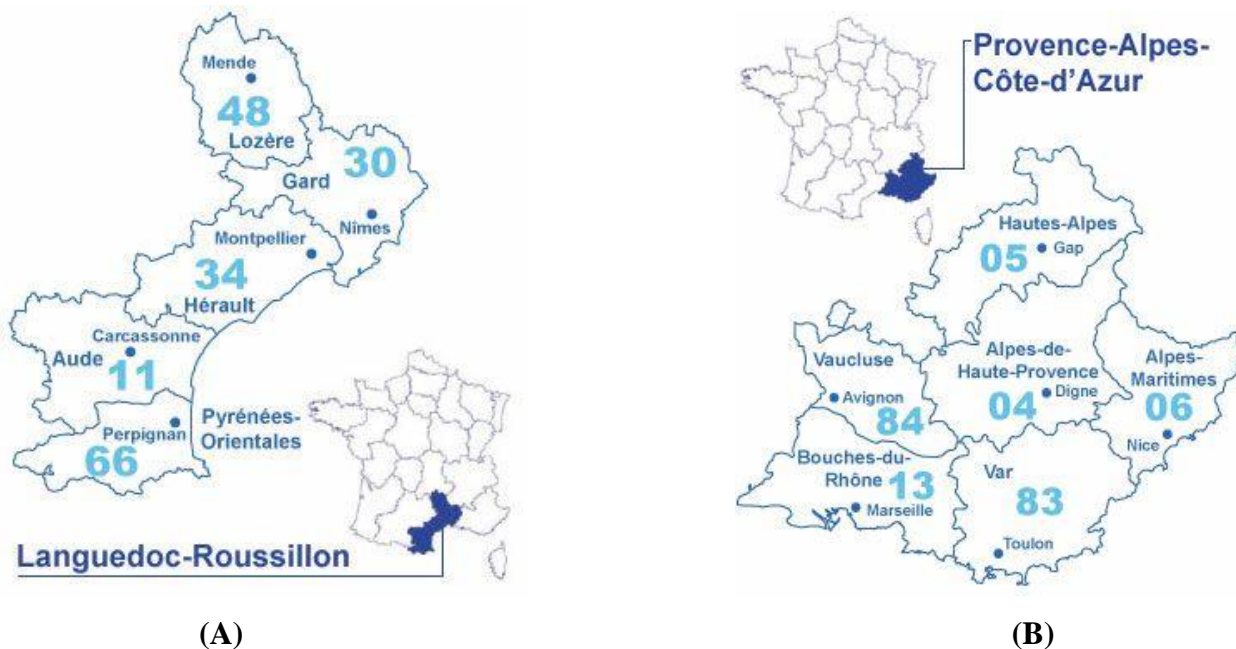


Figure 8 : Localisation de l'étude (A : La région de Languedoc Roussillon ; B : La région de PACA)

3.1.2. PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur)

Provence-Alpes-Côte d'Azur est une région limitrophe de l'Italie dont elle est séparée par les Alpes méridionales. Au nord, elle voisine avec la région Rhône-Alpes et à l'ouest avec le Languedoc-Roussillon dont le Rhône marque la limite. Cette région de 31 400 km² est baignée au sud par la mer méditerranée. Cette région regroupe six départements issus des provinces de l'Ancien Régime de Provence et du Dauphiné

La région de PACA connaît donc à la fois la chaleur et la fraîcheur avec deux climats (Méditerranéen et montagnard). Le climat méditerranéen se caractérise par un excellent ensoleillement, un été très sec et un régime de pluies irrégulier aussi bien d'un mois à l'autre que d'une année à l'autre. Le climat de montagne se traduit par des précipitations plus abondantes et par un bon ensoleillement hivernal. Le vent principal est le mistral, qui souffle vers le sud. Dans cette région, il se présente beaucoup de haies brise-vent constituées de cyprès. [16]

3.2. Les données disponibles et valorisation

Dans le cadre de cette étude, nous travaillons principalement avec les photos aériennes à THRS proposées l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) prise principalement en 2008 et 2009 en LR et PACA au sud de la France. Nous disposons ici de trois bandes spectrales dans le vert, rouge, et le Proche-Infrarouge (PIR) caractérisées par une résolution spatiale de 0.5m, et l'autre image en couleur réelle. Nous avons également les données d'occupation du sol en 2006 dans la région du PACA fournies par le CRIGE (Centre Régional de l'Information Géographique en Provence-Alpes-Côte d'Azur) et par SIGLR (Association pour la diffusion et la promotion de l'information géographique en Languedoc Roussillon) pour la région Languedoc Roussillon. En même temps, nous disposons de la couche MNT qui nous permet de mesurer l'altitude comme facteur environnemental qui peut influencer la présence du cyprès.

3.2.1. Les photos aériennes

La photographie aérienne est la forme la plus ancienne de la télédétection. Elle complètera la fourniture de données par les radiomètres automatiques des satellites spécialisés de télédétection. Les avantages de la photographie aérienne sont surtout liés à leur excellente résolution spatiale ; la finesse des détails perceptibles sur l'image enrichit l'interprétation, puisqu'à l'analyse de la teinte qui résulte de l'intensité du rayonnement, s'ajoute celle des textures et structures fines. Elle fait l'objet d'un géo-référencement qui permet de les utiliser dans le cadre des S.I.G.

3.2.2. Les couches d'occupation du sol

Les organismes de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur disposent depuis 1999 d'un fichier régional d'occupation du sol. Dans cette étude, nous utilisons la version 2006. Cette donnée est issue du traitement et de l'analyse d'une couverture régionale d'images satellitaires Landsat 7 ETM+, avec la résolution de 30m. Le traitement couvre l'ensemble de la région PACA.

Les polygones créés sont intégrés dans la base de données d'occupation du sol afin de disposer d'une base de données unique. L'OCSOL 2006 PACA est une base de données régionale et qu'une représentation

généralisée de l'occupation du sol. Les bases de données construisent par différents niveaux des catégories. (ANNEXE I)

La couche d'occupation du sol sur le Languedoc Roussillon a été portée par l'association SIGLR. Les bases de données sont issues du traitement et de l'analyse d'une couverture régionale d'images satellitaires Landsat 7 ETM+. Cette couche offre une continuité avec celle réalisée par le CRIGE PACA et permet d'avoir une occupation du sol méditerranéenne.

3.2.3. MNT (Modélisation Numérique du Terrain)

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Dans cette étude, nous utilisons cette couche pour connaître l'altitude du terrain.

3.2.4 BD CARTO de l'IGN

La BD CARTO est une base de données Vecteur qui décrit l'ensemble des départements français et les collectivités d'Outre-mer Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Elle contient les réseaux routiers et ferrés, les unités administratives, le réseau hydrographique, l'occupation du sol, la toponymie et les équipements divers comme le réseau électrique. Nous utiliserons cette base pour identifier les départements et évaluer les distances à la mer de nos zones d'études.

3.3. Logiciels

Trois logiciels principaux ont été utilisés dans cette étude. Deux logiciels SIG et traitement d'image GRASS, et eCognition et un logiciel statistique R.

3.3.1. GRASS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) est un Système d'Information Géographique qui supporte à la fois des fichiers vecteurs, points et rasters. Il possède également des fonctions pour le traitement d'images et la production de cartes. Il accepte une multitude de formats propriétaires ou d'échange en importation ainsi qu'une grande variété de formats en exportation grâce à son interface avec les bibliothèques autonomes GDAL et OGR. De plus, la refonte de son interface en Gestionnaires SIG et l'arrivée de nouvelles interfaces telles que Quantum GIS ou Java GRASS lui confèrent un confort d'utilisation accru en particulier pour la numérisation de données ou la mise en page cartographique à l'intérieur de GRASS. Grâce à ce logiciel, il nous est permis de réaliser le traitement d'image et la gestion des données attributaires portées par le SGBD PostgreSQL.

3.3.2. eCognition

eCognition suit une approche orientée objet pour l'analyse automatisée des images. Ce logiciel ne classe pas les pixels isolément mais des objets préalablement extraits lors d'une segmentation. Il offre la possibilité de traiter des images texturées, à faible contraste, ou à très haute résolution (User Guide eCognition, 2008). C'est à l'heure actuelle le seul logiciel commercial doté de cette approche orientée-objet. Il est basé sur la logique floue et intègre un large spectre de caractéristiques des objets, tels des valeurs spectrales, la forme et la texture.

eCognition se compose de deux algorithmes essentiels, un est la segmentation, l'autre est la classification. La segmentation est la première étape de l'approche orientée-objet. Elle génère des objets-images en regroupant des pixels. Nous utilisons la segmentation multi-résolution d'eCognition, se basant sur des critères d'homogénéité et d'échelle. Comme les classifications seront appliquées à ces segments et non aux pixels, la qualité de cette segmentation doit être optimale.

3.3.2.1. Segmentation

La segmentation consiste à générer des objets, créés par une technique ascendante de croissance de région. Au cours des itérations, les pixels sont progressivement fusionnés à leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands, en respectant un seuil d'hétérogénéité prédéfini. Quand ce seuil est atteint, le processus de fusion s'arrête. La procédure permet d'aboutir à la production d'objets adjacents de taille et de forme similaires bien répartis dans l'espace. Le seuil d'hétérogénéité est calculé en fonction de plusieurs paramètres définis par l'utilisateur tels que la couleur, qui renvoie à la valeur spectrale des objets, et la forme, qui correspond à la texture des objets auxquels on peut attribuer un poids relatif. Le critère de forme se subdivise en deux autres critères : le lissage, qui permet d'optimiser le résultat de la segmentation en fonction de la bordure lisse des objets, et la compacité des objets. Le poids attribué à ces critères est le paramètre d'ajustement qui permet de réaliser la segmentation la plus satisfaisante possible. Le critère de taille permet au processus de segmentation de s'arrêter. Plus ce paramètre est élevé, plus les objets sont grands. On peut enfin faire varier le poids des différents canaux, spectraux ou thématiques, au sein de la segmentation en fonction de leur importance ou pertinence pour le résultat final [13].

Le logiciel eCognition propose quatre types d'algorithmes pour la segmentation. Notre choix s'est porté sur la segmentation multi-résolution qui autorise d'une part une analyse multi-échelle de l'image et d'autre part l'utilisation de données de source et de nature diverses. La notion d'analyse multi-échelle renvoie à la démarche de photo-interprétation. La segmentation multi-résolution permet de transcrire les dépendances hiérarchiques que l'on peut observer dans le monde réel, et de constituer une information supplémentaire pour l'identification d'objets et la classification d'une image. Après avoir effectué une première segmentation de

l'image, l'utilisateur peut ensuite créer différents niveaux qui s'empilent les uns sur les autres, en morcelant ou fusionnant les objets issus de la segmentation initiale. Ainsi, une image peut être segmentée plus ou moins finement; chaque niveau de segmentation s'emboîtant avec le précédent et le suivant. Les objets créés à chaque niveau sont reliés entre eux par un réseau hiérarchique permettant à l'utilisateur d'exploiter les relations entre les différents niveaux pour optimiser les procédures de classification et les fonctions d'appartenance. En effet, chaque objet créé «connaît» son voisinage, son contexte, ses «sous-objets» et «super-objets». La segmentation multi-résolution permet également de traiter simultanément des données de source, de nature et de résolution différentes. (ANNEXE VI)

3.3.2.2. Classification

Le logiciel propose deux méthodes basiques de classification : une méthode basée sur le plus proche voisin et les fonctions d'appartenance floue. La classification au plus proche voisin décrit les classes à détecter grâce à des objets échantillons, que l'utilisateur doit déterminer. Les fonctions d'appartenance floue décrivent des intervalles de caractéristiques. Ces intervalles définissent l'appartenance ou non à une classe, grâce à une fonction de probabilité. Une classe est décrite en combinant un ou plusieurs descripteurs de classe par des opérateurs de logique floue ou par les méthodes d'héritage ou une combinaison des deux. (ANNEXE VI)

3.3.3. R

R est un logiciel libre distribué sous licence 'GNU Public Licence' spécialisé dans l'analyse statistique et la représentation graphique de donnée (math.u-bourgogne.fr/IMB/cardot/MIGS/IntroRM1MIGS.pdf). Dans cette étude, nous utilisons ce logiciel pour réaliser une analyse statistique en utilisant les données disponibles.

4. Méthode

La surface des régions Languedoc Roussillon et PACA est très vaste, et il est impossible d'analyser toutes les photos aériennes. L'étude a été effectuée par échantillonnage dans différentes zones de ces régions. Dans ces régions, le cyprès n'est pas une espèce forestière mais domestique, il est présent soit en haies agricole, soit dans la zone urbaine. Une étude préliminaire sur la zone urbaine nous a montré que la détection des cyprès par analyse d'image sous eCognition ne donnait pas de résultat significatif. Seules des zones d'études de 4km² et présentant une activité agricole majoritaire ont été étudiées. (Figure 9)

Le but final est d'évaluer s'il existe des effets directs ou indirects entre la densité de cyprès et les facteurs écologiques ou liés aux activités humaines, nature des zones agricoles dans la couche d'occupation du sol. Ces relations statistiques nous permettront d'extrapoler la densité de cyprès sur les zones non échantillonnées.

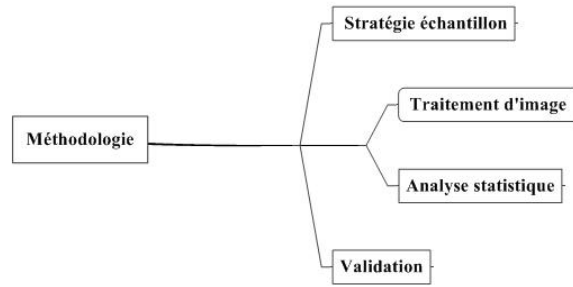


Figure 9 : Schéma méthodologique

4.1. La stratégie d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué par département. Le choix des départements repose sur la cartographie des zones biogéographiques pour la flore méditerranéenne (ANNEXE III) réalisée par le Conservatoire Botanique National Méditerranéen et l'université de Marseille ainsi que sur la cartographie de la consommation de médicaments pour les traitements des rhinite-conjonctivites pendant la période de pollinisation des cyprès (ANNEXE II). A partir de ces informations, nous avons décidé de travailler sur les départements 11, 30, 34, 66 en région LR, et les départements 13 et 84 en région PACA. Le nombre total d'échantillons est de 58. (Figure 11)

Tout d'abord, nous tirons un point aléatoirement par département. Puis, à partir de ce point, nous créons une aire de 4 km². Si cette aire est bien totalement dans le département, nous continuons le processus, sinon, le script va rechercher une autre aire. Si la surface agricole est supérieure à 50 % de la surface totale, nous continuons la prochaine étape, sinon, le script va retourner au début pour tirer une nouvelle aire. Ainsi, nous obtenons une zone de 4 km² dont l'occupation du sol est majoritairement agricole. Enfin, nous extrayons la couche photo aérienne IRC et la couche vecteur d'occupation du sol pour le traitement d'image (Figure 10).

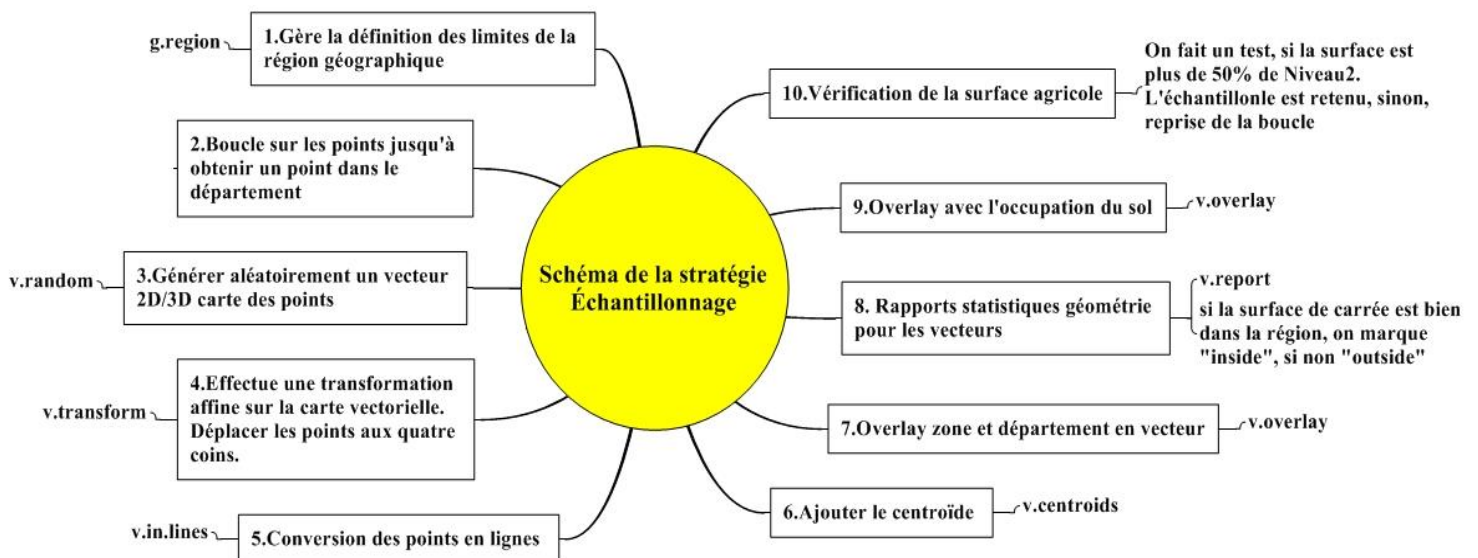


Figure 10 : Le schéma de la stratégie d'échantillonnage et fonctions GRASS utilisées

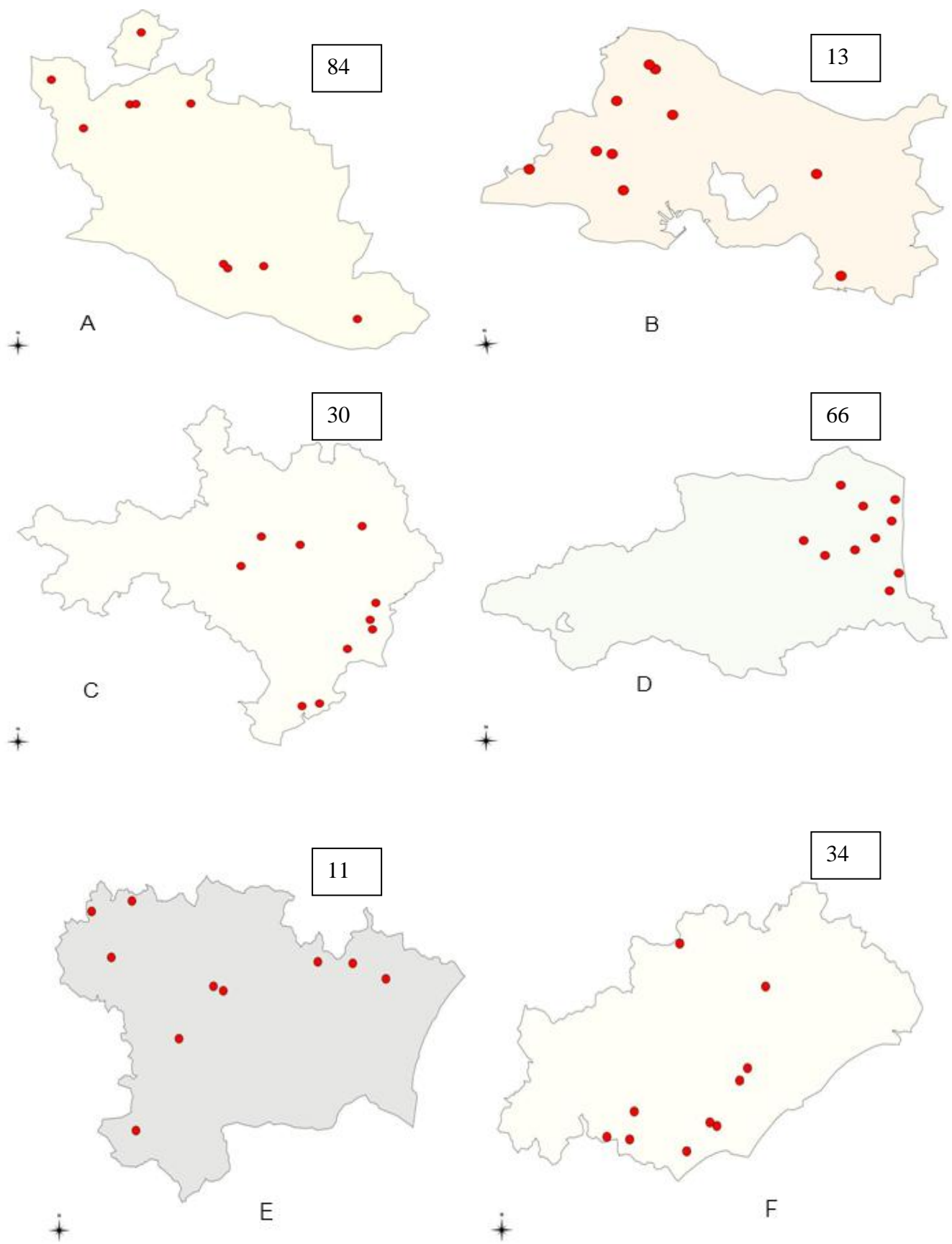


Figure 11 : Localisation des échantillons par département

4.2. Traitement des images

Trois processus principaux ont été testés pour obtenir une classification des ombres de cyprès :

- Extraction des ombres des haies à partir d'une classification non-supervisée sous le logiciel eCognition, puis élaboration d'un masque occultant les haies.
- A partir de ce premier masque, nous faisons une « érosion dilatation » sous GRASS, d'une part pour reconstituer les haies fractionnées, et d'autre part pour enlever les îles de végétations trop petites.
- Grâce au processus précédent, nous pouvons identifier les ombres des haies cyprès à l'aide d'algorithmes de classification supervisée et non-supervisée sous eCognition.

Nous obtenons une cartographie qui présente les ombres de cyprès. Enfin, nous extrayons les données d'occupation du sol et des différents facteurs, tels que la distance de la mer, l'altitude, la zone écologique etc. par département, qui seront utilisés pour analyser la densité de cyprès.

4.2.1. Traitement primaire sous eCognition

Dans cette étude, nous utilisons l'approche orientée-objet qui permet de détecter les cyprès à l'aide du logiciel eCognition. Deux phases principales ont été appliquées : la segmentation et la classification.

4.2.2.1. Segmentation

La segmentation est la première étape de l'approche orientée-objet. Elle génère des objets-images en regroupant des pixels. Nous avons utilisé deux types de segmentation. Un s'appelle « *chessboard segmentation* », l'autre est multi-résolution segmentation. Nous avons fait plusieurs tests pour trouver une valeur à saisir pour le paramètre d'échelle et les paramètres « *shape* » et « *Compactness* ». Le paramètre d'échelle permet de fixer une limite « abstraite » qui détermine l'hétérogénéité maximale permise des objets produits par la segmentation. Lorsque le cyprès est les objets fins et souvent apparaît dans la zone très hétérogénéité, ainsi le paramètre d'échelle doit être plus petit. Nous avons trouvé la valeur pour le paramètre d'échelle à 20 est bien segmenté. En même temps nous avons trouvé les valeurs de « *shape* » à 0.2 et « *compactness* » à 0.4 comme bien adaptée la taille et la forme des cyprès (Figure 13).

4.2.2.2. Classification non-supervisée et supervisée

Dans l'approche orientée-objet, la phase de segmentation est suivie par la classification des segments générés. Après cette segmentation, les informations utilisées ne sont plus les valeurs spectrales des pixels mais les caractéristiques des objets. Par exemple, les caractéristiques spectrales correspondent globalement à des descriptions statistiques appliquées aux valeurs spectrales des pixels contenus dans l'objet. Il existe également de plus d'autres types de caractéristiques, tels que forme, texture, similarité vis-à-vis d'autres classes. Dans ce cadre d'étude, nous avons testé plusieurs calculs sur les caractéristiques des objets, finalement, nous avons

utilise la valeur de radiométrie PIR qui permet de mieux détecter les haies. (ANNEXE V)

Grâce à la puissance d'eCognition, tout d'abord, nous intégrons la couche raster « photo aérienne » et la couche vectorisée de l'occupation du sol. Ensuite, nous faisons une première segmentation qui s'appelle *Chessboard segmentation*, elle permet de prendre en compte la couche vectorisée de l'occupation du sol et ainsi interroger chaque niveau de classe. Puis, nous définissons les classes d'occupation du sol en donnant la valeur correspondante. Après, nous passons la seconde segmentation multi-résolution, approche l'orientée-objet, et nous insérons la classe « ombre des haies » en utilisant la classification par fonctions d'appartenance, nous avons opté pour un seuil de radiométrie en canal PIR ≤ 74 qui permet de détecter la plupart des ombres des haies. Enfin, nous obtenons un masque de classification exporté en format tif.

4.2.2. Traitement sous GRASS

Le traitement porte à la fois sur l'élimination de trop petits objets (<25m² **v.clean**) et sur la reconnexion des haies fragmentées grâce à un processus d'érosion dilatation (**r.thin** et **r.grow**). L'érosion et la dilatation utilisent toutes les deux une opération logique entre tous les pixels définies par un masque. Pour l'érosion, il faut faire un « ET » entre les pixels. Cette opération a pour but de reconstruire les haies. Pour la dilatation, nous allons réaliser un « OU » entre les pixels. Enfin, nous rasterisons cette couche et l'exportons en format Geotif.

4.2.3. Traitement secondaire sous eCognition

Avec le traitement sous GRASS, nous avons obtenu une couche en raster. Certains facteurs modifient la perception des ombres, par exemple la position de l'avion, l'orientation du soleil (heure et jour) etc. La radiométrie des ombres permet de séparer la végétation et le bâti, mais ne permet pas d'identifier le cyprès parmi les autres espèces : platane, peuplier, verger, vignobles, etc. Nous effectuons le dernier traitement d'image sous eCognition. En premier, nous importons cette couche raster. Ensuite, nous faisons une segmentation multi-résolution par l'approche du pixel. Puis, nous insérons plusieurs classes (l'ombre des platanes, l'ombre des peupliers, l'ombre des cyprès, les routes, l'ombre du bâti, l'eau etc.), et puis une classification supervisée est appliquée qui permet d'identifier le cyprès. Enfin, nous vérifions la classification via Google-Map et le service StreetView. Au final, nous avons réussi un masque de classification pour détecter les ombres des cyprès dans la zone de teste.

4.3. Analyse statistique

L'analyse statistique permet non seulement de nous aider à extraire de données télédétection de l'information complémentaire mais aussi d'évaluer les facteurs et variables qui déterminent la densité de cyprès. Nous analyserons nos résultats à l'aide par du logiciel R en utilisant la modèle linéaire.

4.4. Estimation de la densité de cyprès

L'analyse statistique permet d'évaluer l'effet des facteurs comme le département, le niveau d'occupation du sol etc. sur la densité de cyprès. Ces effets sont utilisés sur le reste du territoire pour construire la cartographie de la densité de cyprès en région Languedoc Roussillon et PACA.

Pour réaliser la cartographie, tout d'abord, nous construisons une grille de maille 1 km² en région LR et PACA à la fonction **v.mkgrid** sous GRASS. Ensuite, nous fusionnons la couche de la grille et la couche de la région par **v.overlay** qui permet de sortir la zone du travail. L'opération est renouvelée avec la couche d'occupation du sol. Ensuite, nous ajoutons de nouvelles colonnes et enregistrons la base de données pour l'altitude, le code du département, la surface de cyprès sous PostgreSQL par les fonctions **v.db.addcol** et **v.to.db**. Après, nous ajoutons une colonne « surface cyprès » qui contiendra la densité de cyprès ainsi qu'une autre colonne pour les effets des facteurs. Enfin, avec ses bases de données, nous réalisons une estimation de la densité de cyprès et calculer à partir de la combinaison linéaire des facteurs conformément au modèle d'Aov (Figure 12).

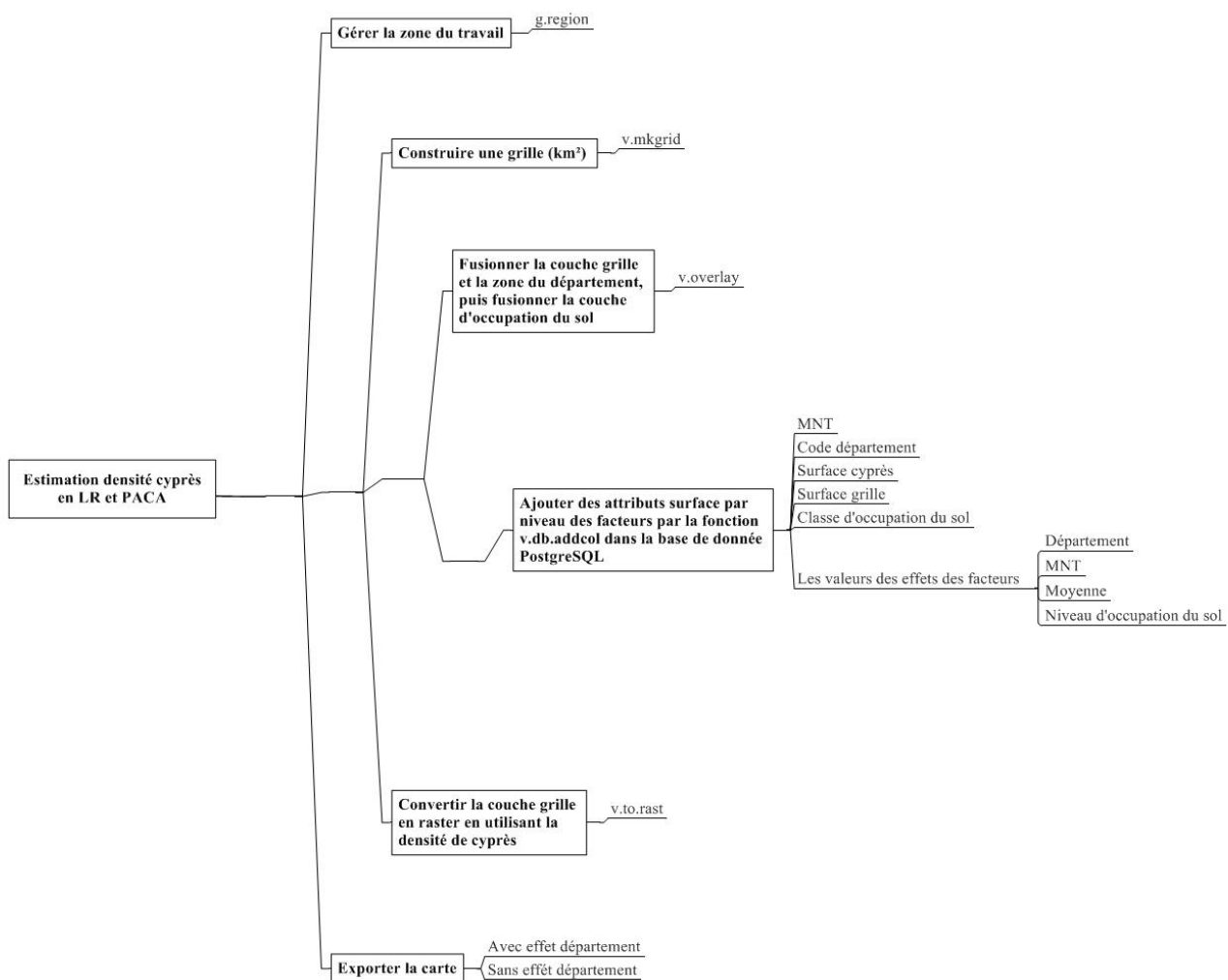


Figure 12 : Schéma d'estimation de la densité en cyprès en LR et PACA

Figure 13 décrit la construction de notre méthodologie.

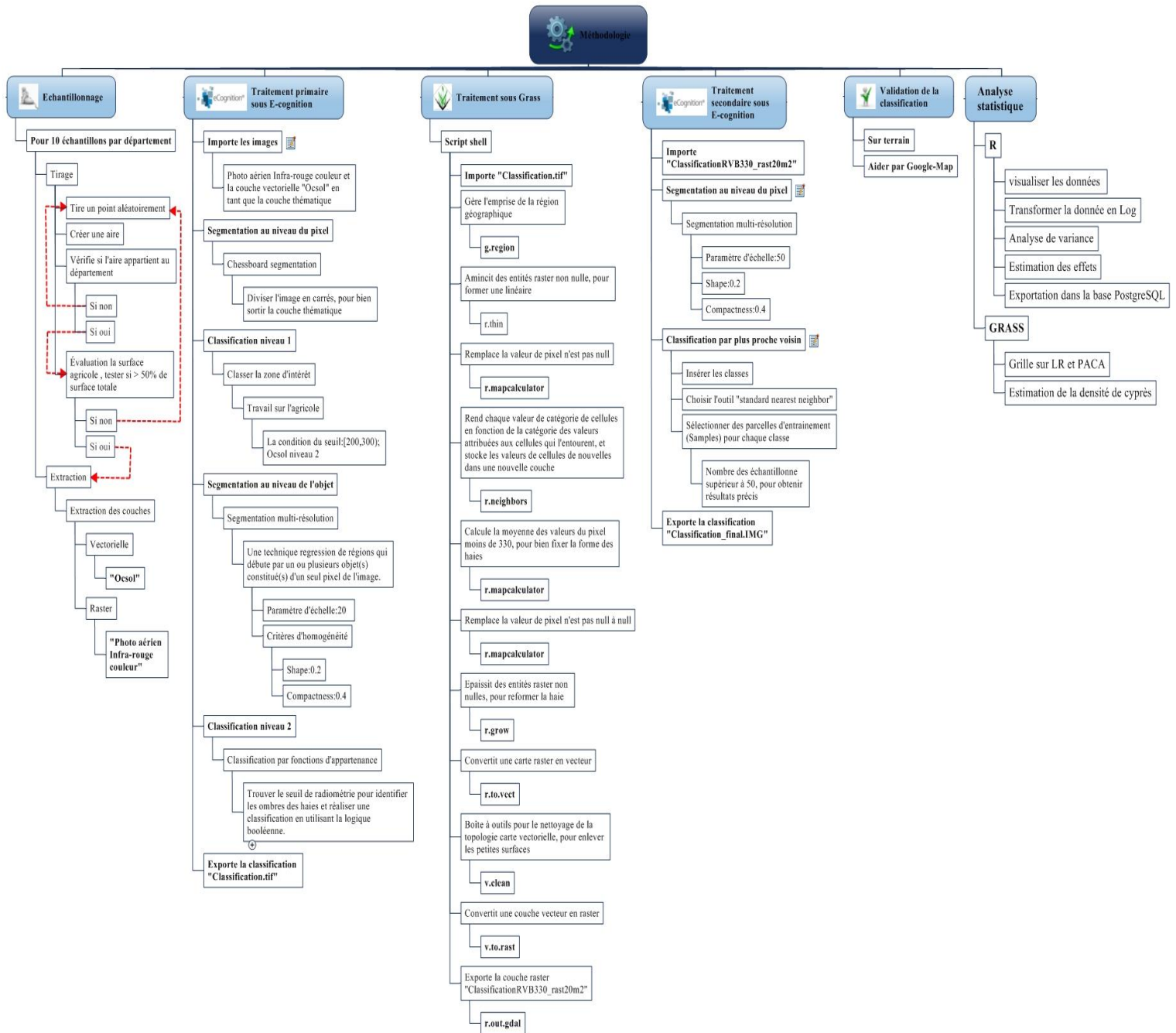


Figure13 : Organigramme méthodologique

5. RESULTAT ET DISCUSSION

5.1. Résultat du traitement d'image

Pour définir notre méthodologie, nous avons choisi une zone du test dans le nord du département 13, à une vingtaine de kilomètres d'Avignon. Nous obtenons plusieurs cartographies issues de différents traitements des images.

5.1.1. Résultat du traitement primaire de l'image sous eCognition

Grâce au traitement sous eCognition, nous avons à la sortie un masque de classification qui permet de détecter les ombres des haies, il identifie également certaines zones en végétation. Ensuite nous importons ce masque sous GRASS pour réaliser le deuxième masque de classification. (Figure 14)

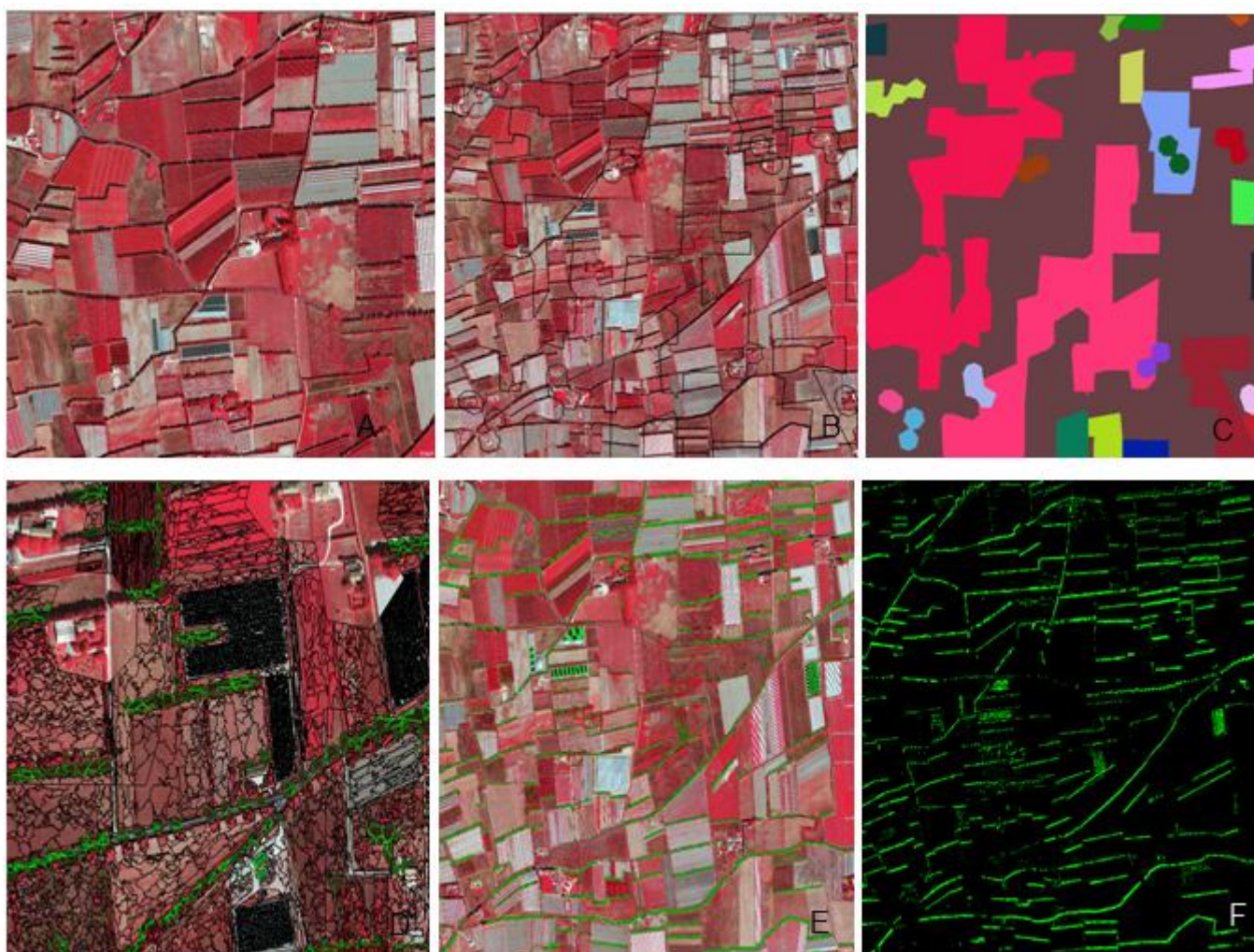


Figure 14 : *Segmentation primaire sous eCognition (A : Zone du test ; B : Chessboard segmentation ; C : la couche d'occupation du sol (Couche thématique) ; D : Segmentation multi-Résolution ; E : Classification par fonctions d'appartenance ; F : Exportation du masque de classification)*

5.1.2. Résultat du traitement sous GRASS

La figure ci-dessous décrit la comparaison entre les images avant et après traitement sous GRASS.

Nous pouvons voir que grâce à cette méthode de « érosion dilatation », nous avons obtenu une haie plus linéaire et la diminution des ilôts de végétation. (Figure 15)

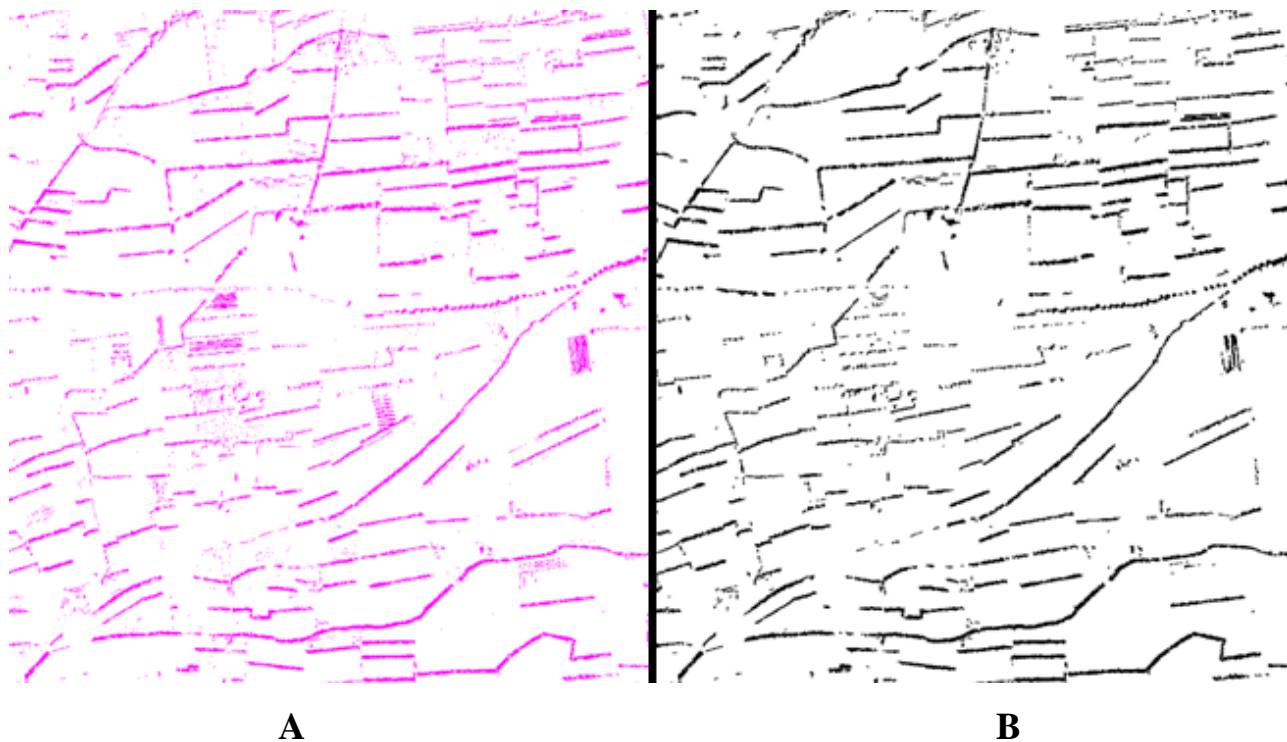


Figure 15 : *Le traitement d'érosion dilatation sous GRASS (A : Avant le traitement ; B : Après le traitement)*

5.1.3. Résultat du traitement secondaire sous eCognition

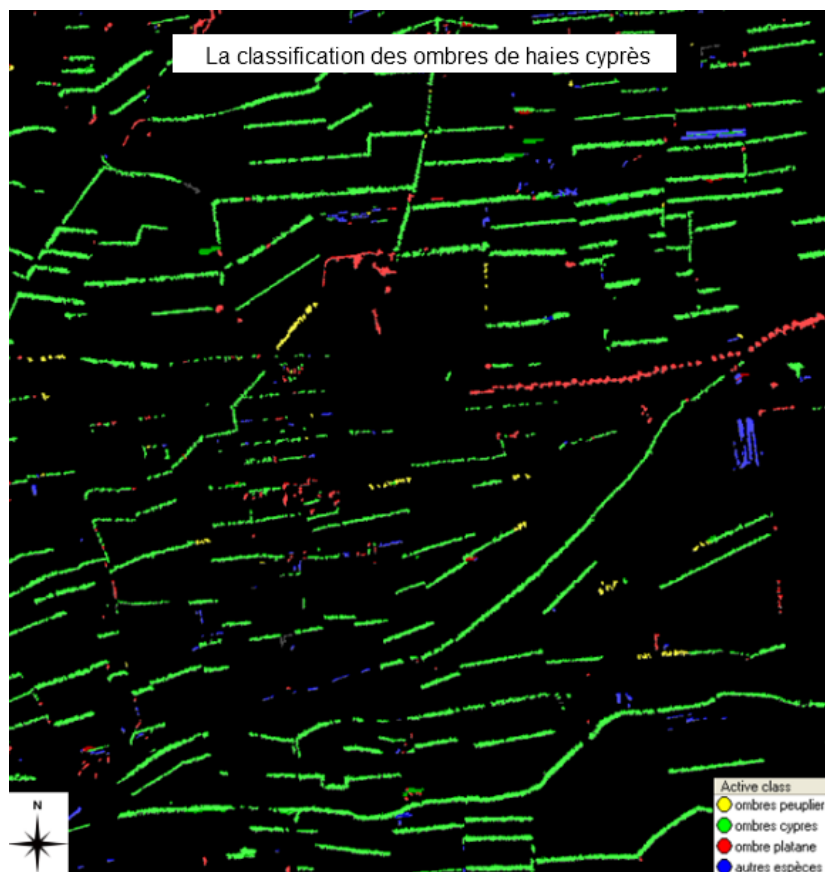


Figure 16 : *Le masque de classification du traitement secondaire sous eCognition dans la zone du teste*

Le dernier processus du traitement réalisé sous eCognition, produit un masque de la classification qui permet de détecter les ombres des cyprès (Figure 16). Nous vérifions le résultat de notre classification à l'aide de Google-Maps-StreetView.

5.2. Vérification des résultats de la classification

L'application Google-Map nous permet de visualiser les photos RGB de très haute résolution spatiale, et de zoomer jusqu'à l'échelle d'une rue. Deux types de vue sont disponibles : une vue en plan classique, avec nom de rues, quartier, villes et une vue en image satellite, qui couvre aujourd'hui le monde entier. Le service StreetView donne accès aux photographies prendre depuis les routes. Ici il nous permet de vérifier et valider notre résultat de la classification.

Nous choisissons certaines zones, environ 7 Box aléatoirement (Figure 17), par la suite, nous nous dirigeons sur la carte et comparons entre le résultat de la classification et la vue sous Google-Maps-StreetView (Tableau1).

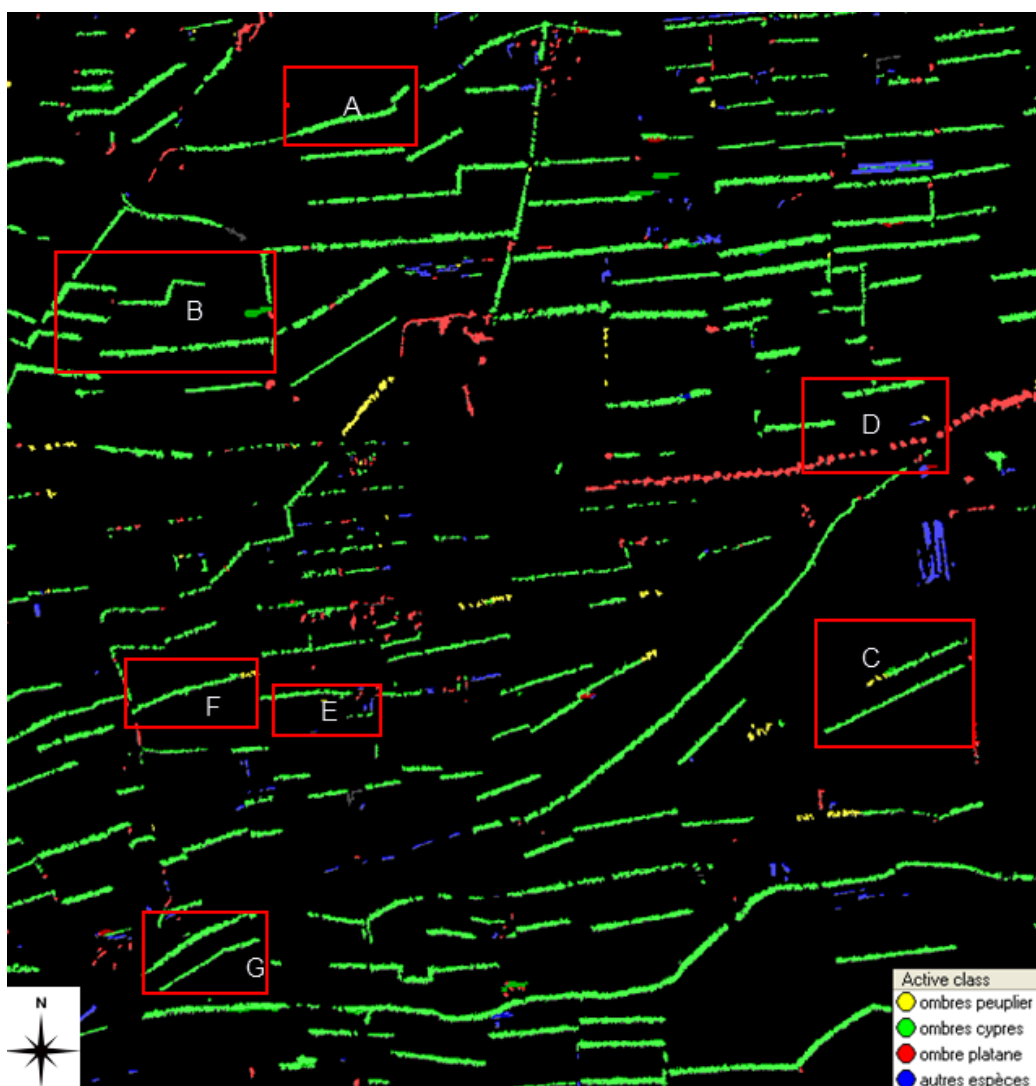







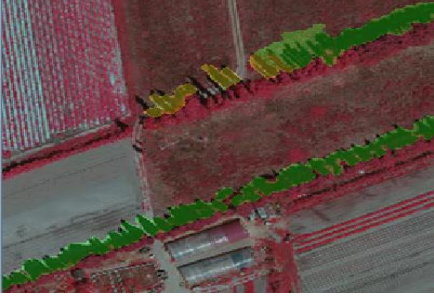


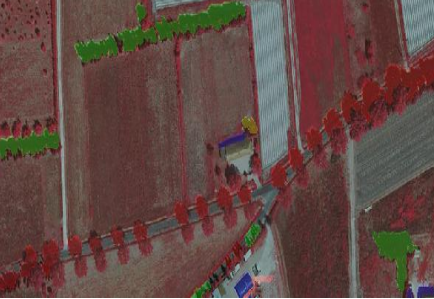









Figure 17 : *Les échantillons de validation sur la zone du test*

	Photo aérienne IRC	Classification	Vérification sous Google-Map-StreetView
A			
B			
C			
D			
E			
F			




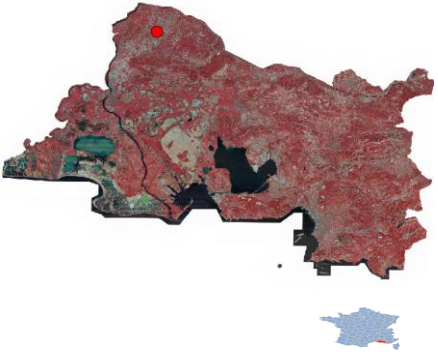
G			
	<p>Coordonné : Xmin :1843903 Xmax :1845989 Ymin :3183272 Ymax :3185482</p>		<div data-bbox="1007 506 1206 674"> <p>Active class</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ombres peuplier ● ombres cyprès ● ombre platane ● autres espèces </div> <p>Type : Photo aérienne IR Couleur Résolution spatiale : 0.5m Département : 13</p>

Tableau 1: Vérification de la classification sur la zone du test (Nord Boucher du Rhône)

Cette vérification donne des résultats assez satisfaisants, nous avons bien détecté les ombres des cyprès (plus de 90%).

5.3. Recherche des facteurs explicatifs par analyse statistique

Grâce à un script *shell*, le résultat du traitement des images échantillonnées est enregistré dans la base de données sous PostgreSQL. Des requêtes spatiales nous ont également permis d'enregistrer les facteurs d'intérêt comme le département, la zone écologique et les (co)variables comme la distance de la mer, l'altitude (MNT).

Nous avons utilisé différents modèles linéaires sous R pour analyser la densité de cyprès évaluée de deux façons :

$$\text{Surf /Ha} = \text{surface de cyprès (m}^2\text{) / surface totale (Ha)} \quad (1)$$

$$\text{Lg /Ha} = \text{longueur des haies de cyprès (m) / surface totale (Ha)} \quad (2)$$

Surface et longueur sont celles de l'ombre des cyprès. Nous avons étudié ces deux variables en faisant l'hypothèse que la longueur était plus faible car moins sensible que la surface aux effets de position du soleil. Les résultats obtenus sont très proches et nous ne présenterons ici que celui correspondant à la surface.

La figure 18(A) présente la distribution des surfaces en cyprès (m²par ha). La distribution initiale est en «L » très marqué à cause de beaucoup de surfaces très petites. La transformation par la fonction Log permet d'obtenir une distribution mieux adaptée à une analyse de variance-covariance en modèle linéaire pour laquelle nous faisons les hypothèses de distribution normale et d'indépendance des résidus (Figure 18 (B)).

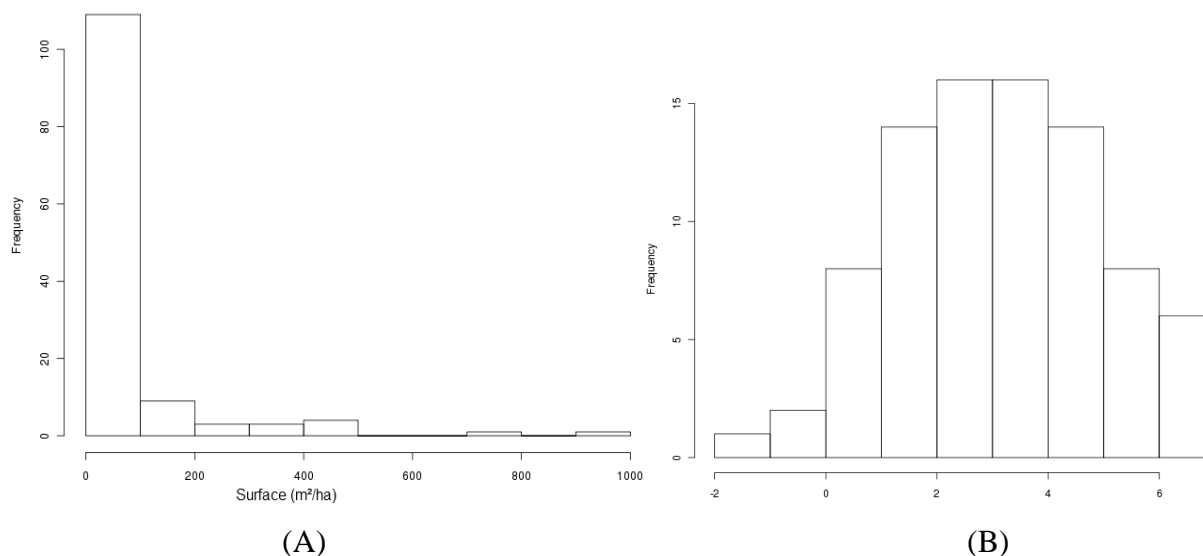
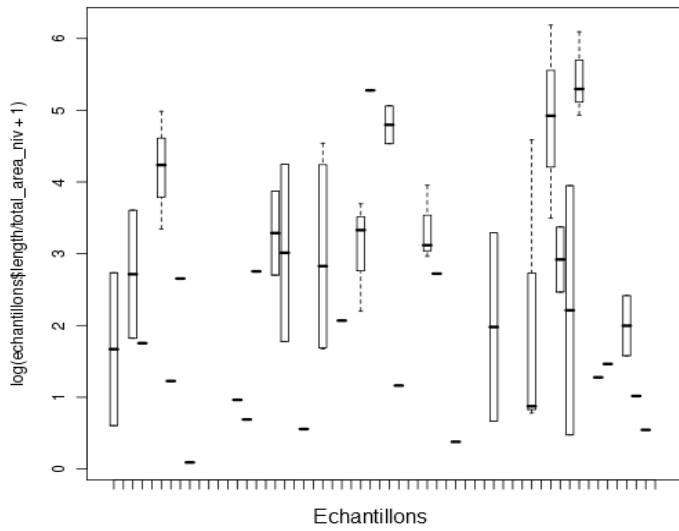


Figure 18 : *Histogramme des surfaces relatives en cyprès*

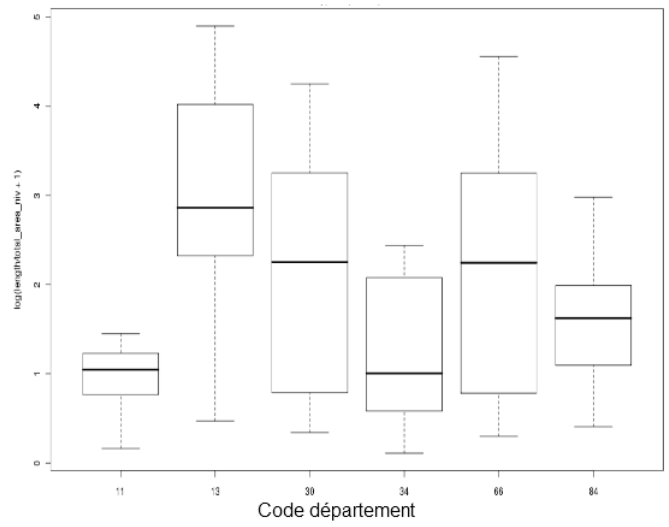
Ensuite, nous construisons notre modèle linéaire sous R avec la formule suivante :

Surf / Ha = moyenne + Département + Niveau d'occupation du sol + Echantillonnage (dans Département) + MNT + distance de la mer + erreur

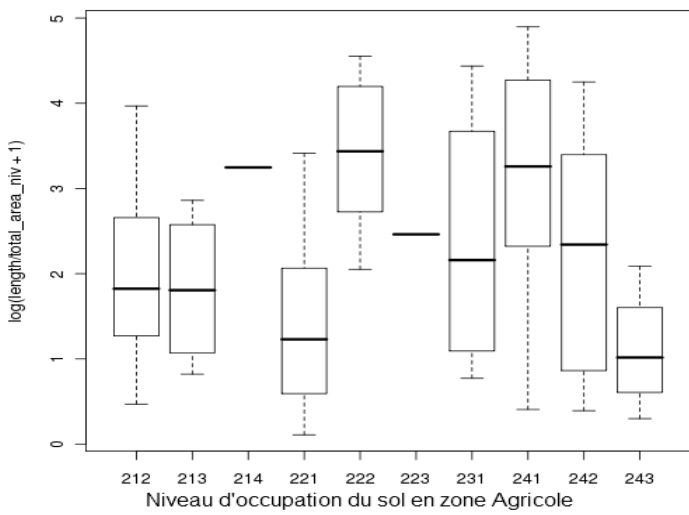
Les graphiques de la figure 18 présentent la distribution des données en fonction des facteurs du modèle. Le premier nous montre que la densité de cyprès a une très forte variation au niveau des échantillons. Au niveau des départements, nous trouvons une forte densité de cyprès dans le département 13, en revanche, il y a une très faible densité de cyprès dans le département 11 (Aude). Le troisième graphique présente la densité de cyprès pour chaque niveau d'occupation du sol en zone agricole, chaque code correspondant à classe d'agriculture (voir l'ANNEXE I). Nous voyons dans les niveaux 222 (vergers et petits fruits) et 241 (culture annuelles associées aux cultures permanentes) une plus forte densité de cyprès que dans les autres niveaux, les niveaux 214 (zones à fortes densité de serres) et 223 (Oliveraies) sont très peu représenter, mais la valeur est forte aussi. Pour le niveau 221 (Vignobles) et 243 (territoires principalement occupés par l'agriculture avec présence de végétation), la densité de cyprès est encore plus faible. Les graphiques 4 et 5 présentent la relation entre, l'altitude, la distance de la mer et la densité de cyprès. Ces deux co-variables sont en fait assez corrélés (graphique 6). Plus l'altitude est haute, moins nous avons de chance de trouver des cyprès. Plus nous sommes loin de la mer, moins il y a de cyprès (Figure 19).



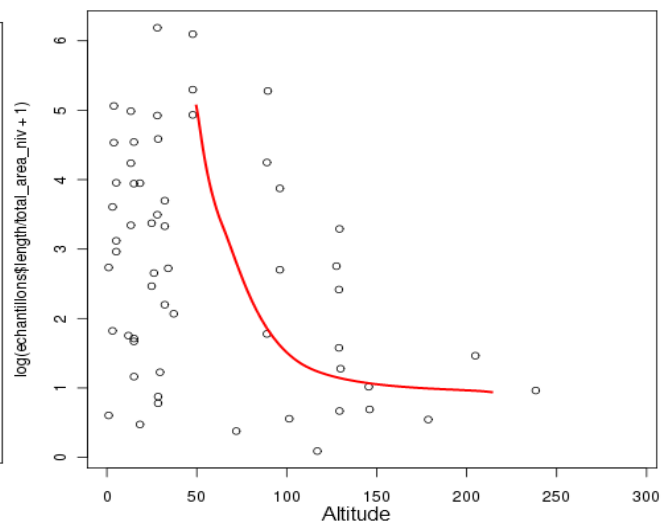
(1)



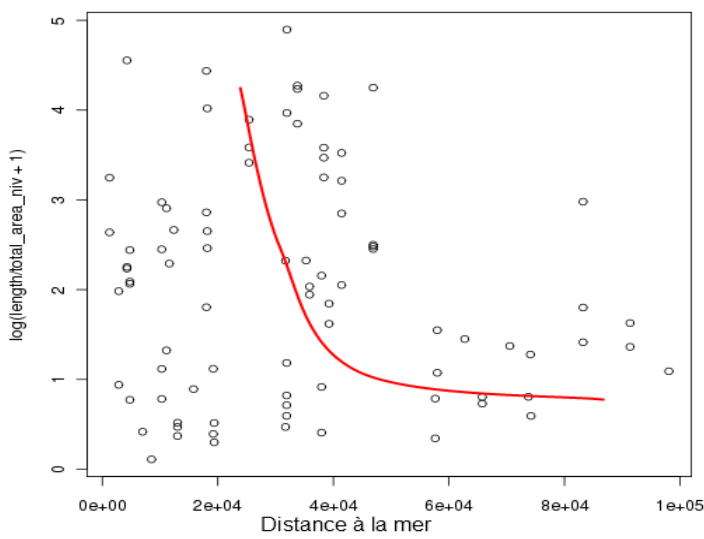
(2)



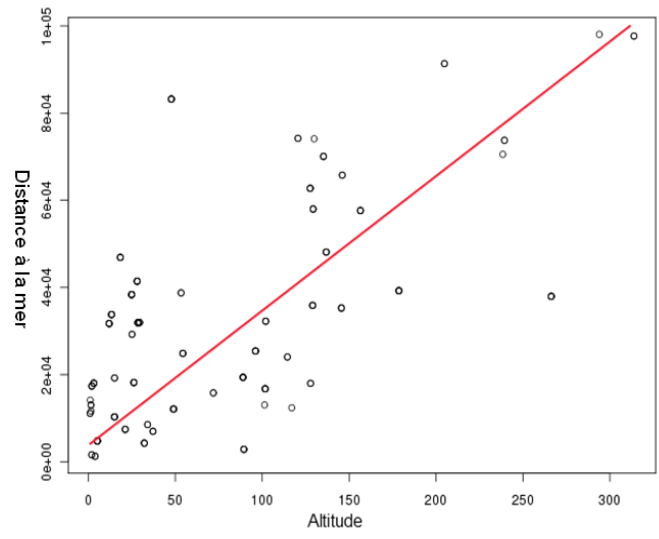
(3)



(4)



(5)



(6)

Figure 19: *Densité de cyprès (par ha) en fonction des facteurs et variables du modèle (échantillonnage, département, niveau d'occupation du sol en zone agricole, altitude et distance de la mer).*

Puis, nous faisons une analyse de variance par la fonction « Aov » du logiciel statistique R.

L'analyse de variance montre qu'il y a un effet par le département très significatif (Pr<<5%). Il y a également des effets significatifs pour l'altitude, la classe d'occupation du sol en zone agricole et les cartes. Par contre, la distance de la mer a peu d'effet puisque la probabilité est supérieure à 5%.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
d département	5	60.54	12.11	3.42	0.015 *
Niveau agricole	9	33.73	3.75	3.97	0.0012999 **
Echantillons	32	93.38	2.92	3.09	0.0005739 ***
Altitude	1	8.23	8.23	8.72	0.0054330 **
Dis. à la mer	1	1.99	1.99	2.11	0.1542980
Résiduels	37	34.92	0.94		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tableau 2 : Résultats de l'analyse de la variance pour la variable « surface en cyprès »

5.4. Résultats de la cartographie de la densité de cyprès

A partir de la démarche précédente, nous avons obtenu une cartographie de la densité de cyprès. Sur la figure 21, nous pouvons voir qu'il y a une forte densité de cyprès dans le nord du département 13 (Bouches du Rhône) et la bordure entre 30 (Gard) et 13. Il y a une présence de cyprès discontinue entre le département 34 (Hérault) et les départements 11 et 30. Cette différence assez brusque est due à un fort effet département. La plus faible densité de cyprès dans l'Hérault (tout autre facteur étant égal) est crédible, en revanche l'évolution entre les départements doit être progressive, ce qui ne peut être rendu par notre modèle avec un facteur « département » à niveaux discrets. Il serait préférable d'utiliser une modélisation continue (Figure 20).

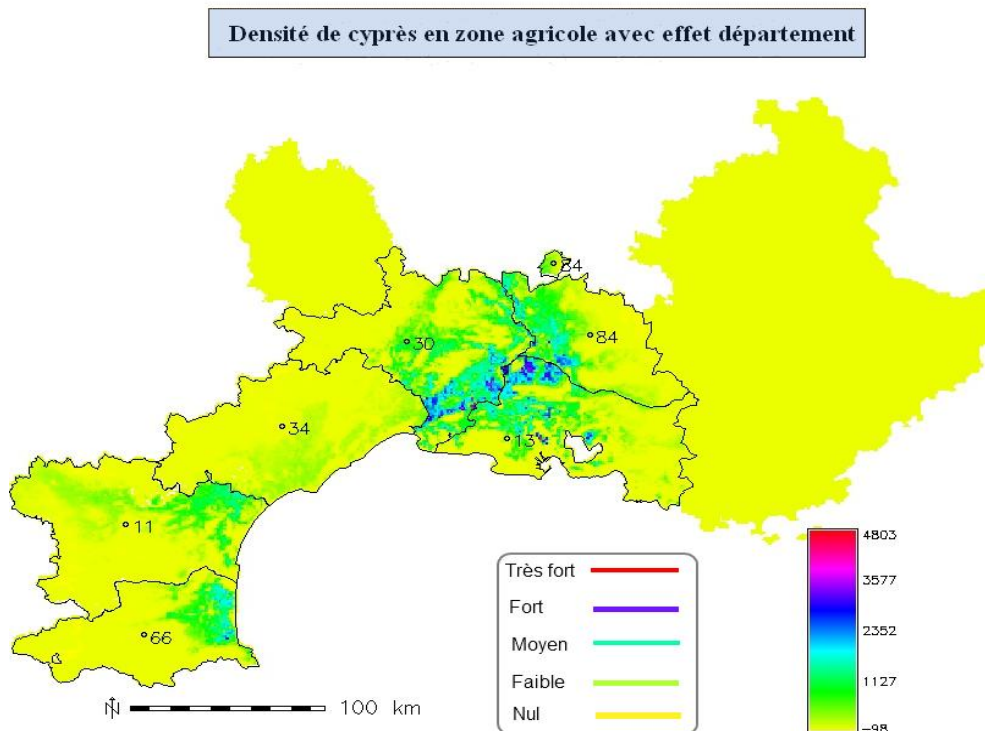


Figure 20 : *Estimation de la densité de cyprès en zone agricole avec effet département*

Si l'on ne tient pas compte de l'effet du département, on a une densité de cyprès continue entre les départements 34, 11 et 30 et plus globalement sur l'ensemble de la région. La plus forte densité en vallée du Rhône n'est plus visible. (Figure 21)

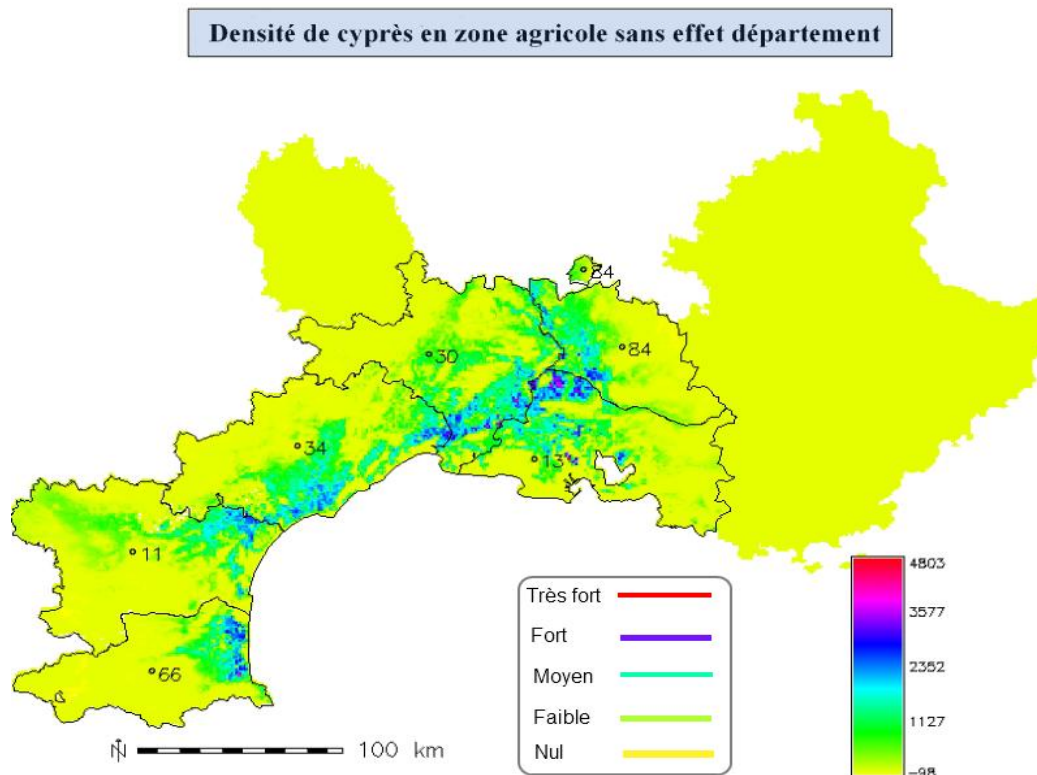


Figure 21 : *Estimation de la densité de cyprès en zone agricole sans effet département*

5.5. PROBLEMES RENCONTRES

- Le logiciel eCognition nécessite beaucoup de temps pour faire la segmentation des images à cause de la puissance limitée de l'ordinateur.

- La zone du travail est très vaste et le nombre d'échantillons analysés est très limité pour assurer de bons résultats.

- La durée du stage n'a permis de traiter que la zone agricole. Il reste 4 niveaux d'occupation du sol non traités (Territoires artificialisés, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surfaces en eau). Le niveau territoires artificialisés est une zone très urbanisée, il y a des cyprès soit isolés autour des bâtiments, soit plantés en ornement, qu'il faudra quantifier. Pour les deux autres niveaux, la quantité de cyprès est négligeable.

- La qualité de photo aérienne pose aussi parfois problème. Le travail a débuté sur des photos du département 13 (en Lambert 94CC44) puis a été étendu aux autres départements avec les photos de l'IGN (en Lambert 93). Le décalage temporel et la qualité variable des images ont influencé le résultat final.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

En région méditerranéenne, le pollen des Cupressacées (Cyprès, Genévriers, Thuyas...) représente le tiers de tous les pollens. En fin d'hiver, il provoque des allergies allant du simple désagrément aux rhinites et conjonctivites. La période s'étend sur plusieurs mois en raison du nombre important d'espèces à l'origine du pollen. Ces allergies causent un véritable problème de santé publique. [6]

L'outil de prévision CartoPollen permet d'informer les personnes sensibles et les professionnels de santé sur l'exposition potentielle. Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la détection des sources du pollen (Cyprès) par télédétection en région Languedoc Roussillon afin d'améliorer CartoPollen.

Dans notre étude, tout d'abord nous avons utilisé la valeur moyenne des pixels d'un objet par le canal Proche Infra Rouge de l'image qui permet d'identifier les ombres des haies sous E-cognition. Ensuite, nous avons fait une érosion dilatation sous GRASS pour reconstruire nos haies et enlever les îlots de végétation. Puis, nous avons retraité l'image sous eCognition pour obtenir une classification finale. Finalement, nous avons constitué des bases de données sous PostgreSQL et effectué une analyse sous R. Par rapport au projet précédent, nous avons intégré plusieurs facteurs tels que la distance de la mer, l'altitude, différents niveaux d'occupation du sol etc. qui peuvent influencer la densité de cyprès. Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'il y a un effet très fort par département et de la zone échantillonnée, il existe également un effet significatif de l'altitude et de l'occupation du sol, en revanche, il n'y a pas d'effet lié à la distance de la mer. Au niveau d'occupation du sol en zone agricole, la densité de cyprès apparaît surtout dans les niveaux 222 (vergers et petits fruits) et 241 (Cultures annuelles associées aux cultures permanentes).

A cause de la limite de temps pour ce stage, nous avons seulement travaillé en zone agricole. Une étude préliminaire sur la zone urbaine nous a montré que la détection des cyprès par analyse d'image sous eCognition ne donnait pas de résultat significatif. Il a donc été décidé d'évaluer la densité de cyprès en zone urbaine par reconnaissance visuelle directe des arbres (ou courtes haies) sur les photos aériennes et par une stratégie d'échantillonnage semblable à celle utilisée sur la zone agricole. Cette partie n'a pas été effectuée pendant le stage car nous avons préféré valoriser les données obtenues en zone agricole. Néanmoins, les surfaces urbaines sont beaucoup moins importantes que les surfaces agricoles (860420.26 ha en zone agricole contre 173643.29 ha en zone urbaine dans la région LR, et 611705.64 ha contre 268067.24 ha en PACA) (ANNEXE I).

Dans cette étude, nous avons effectué des tirages aléatoires d'échantillons, peut-être le nombre d'échantillons peut-il influencer le résultat etc. Une perspective intéressante serait de trouver des nouveaux facteurs plus significatifs afin d'expliquer la présence de cyprès. Nous souhaitons notamment analyser le vent en temps que covariable. L'utilisation d'un modèle avec facteur (« département ») pose un problème de discontinuité des estimations aux limites des départements. Pour éviter ce problème il est prévu d'utiliser une approche spatiale du type *Krigeage*. Ces méthodologies prometteuses dépassent le cadre de notre travail qui se « limitait » à la détection des sources de cyprès.

On peut en outre espérer que l'augmentation de l'offre en données de télédétection à très haute résolution entre les images satellite avec multi bandes conjointement à l'amélioration des capacités de stockage et de calcul informatiques, permette dans un futur proche de prendre en compte simultanément de nombreuses données pour améliorer les résultats. Par exemple, l'utilisation de plusieurs prises de vues dans une année (été/hiver) pourrait aider à la détection des cyprès.

Enfin je souhaite ajouter une analyse plus personnelle du projet et de son intérêt. Ce projet est intégralement multidisciplinaire. Il inclut informatique et statistique, et son grand intérêt est qu'il combine le domaine de l'écologie et la télédétection, et également l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique. Cette multidisciplinarité intégrée me permet d'envisager l'étude des applications de la géomatique et de la télédétection dans le domaine de l'écologie. Ce stage fut très enrichissant, d'un point de vue professionnel et personnel. Il m'a permis d'approfondir certaines connaissances en télédétection et système d'information géographique et d'en acquérir de nouvelles (Informatique et script *shell*). La réalisation d'une synthèse bibliographique complète à partir de la littérature scientifique, m'a poussé à organiser des informations diverses et à les restituer, de l'anglais vers le français. Ce travail m'a aidé à développer un esprit de synthèse et m'a permis de progresser dans la compréhension de l'anglais scientifique. Cette expérience très intéressante m'a conforté dans mon orientation et mes choix professionnels.

Bibliographies

Références:

- [1] Aas et al. 1997 European Allergy White Paper: *Allergic Diseases as a Public Health Problem in Europe*, UCB Institute of Allergy eds. Brussels pp.117
- [2] Ariano R. (2008). Allergy to cypress pollen. *REVUE FRANCAISE D ALLERGOLOGIE ET D IMMUNOLOGIE CLINIQUE*, 48, pp.321-324.
- [3] C. Pichot, M.Calleja, P.Pluvinet, I. Farrera. (2010). Pr évision spatio-temporelle des émissions polliniques : Le cyprès en Languedoc-Roussillon. *XV èmes Journées d'Etudes Scientifiques du Réseau National de Surveillance A érobiologique*.
- [4] Carole D. (2006). Extraction et Caract érisation de vignes à partir de données de télédétection à très haute résolution spatiale. Doctorat de l'ENGREF, Montpellier, 172 p.
- [5] Centre Canadien de Télédétection CCT. *Notions fondamentales de télédétection*
- [6] Charpin D, Calleja M, Lahoz C, Pichot C, Waisel Y. (2005). *Allergy to cypress pollen. Allergy*, 60, pp. 293-301.
- [7] Charpin D.A.,Calleja M.,Pichot C.(2011). Effet of trimming cypress tree on pollination. *Journal of allergy and clinical immunology*, 119, pp. S101-S101.
- [8] D.Sheeren, M.Fauvel, S.Ladet, A.Jacquin, C.Monteil, M.Goulard.(2011) "Identification des accrues de frêne en milieu de montagne par télédétection hyperspectrale : objectif et premiers résultats de la mission MADONNA.
- [9] M. Ar án, P. Villar, J. Xandri, L. Albizua, A. Ler ánoz, M. Zalba, et X. Farr é (2001). Estudio de las relaciones entre las propiedades del suelo, cubierta vegetal y respuesta spectral en el cultivo de viña. *In Teledetección : medio ambiente y cambio global*. pp.29–32.
- [10] P. J. Zarco-Tejada, G. H. Mohammed, et T. L. Noland. (2000). Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. leaf-level measurements and simulation of reflectance and transmittance spectra. *Remote Sensing of Environment*,74,pp.582–595.
- [11] Pichot C., (2000). Variabilité de la pollinisation et du pollen chez les Cyprès. *Allergie et Immunologie XXXII* ,3,pp.132-133.
- [12] Pichot C.(coord.);Calleja, M. (2009). CartoPollen : Développement d'un outil de cartographie spatio-temporelle du risque allergique basé sur les équations phénologiques de la pollinisation : application aux Cupressac ées en Languedoc-Roussillons.
- [13] Ursula C.,Benz*, Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M.(2004) "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information". *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58, pp.239-258

Site internet :

[14] Pr évision des émissions de pollen de cyprès en région Languedoc Roussillon.

www.supagro.fr/pollen/cartopollen/previsions_J.php

[15] RNSA (2007-2012). Les pr évisions du risque allergique. www.pollens.fr

[16] Région Languedoc Roussillon. www.laregion.fr

[17] Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. www.regionpaca.fr

[18] INRA PACA.(2011). Pr évention des allergies au pollen de Cupressac ées.

www.inra.fr/les_partenariats/collaborations_et_partenaires/entreprises/en_direct_des_labos/prevention_des_allergies_au_pollen_de_cupressacees

GLOSSAIRE ET LISTE DES PRINCIPAUX SIGLES UTILISES

Glossaire :

Corine Land Cover : est une base de données européenne d'occupation biophysique des sols.

Ecologie : est la science qui étudie les milieux et les conditions d'existence des êtres vivants et les rapports qui s'établissent entre eux et leur environnement, ou plus généralement avec la nature.

Occupation du sol : peut être succinctement définie comme la couverture (bio-) physique de la surface des terres émergées (d'après FAO, 1998).

Pollinisation : La pollinisation est le mode de reproduction privilégié des plantes angiospermes et gymnospermes (70 % à 90 % des angiospermes sont pollinisés par une espèce animale).

Projection cartographique : est un ensemble de techniques géodésiques permettant de représenter la surface de la Terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte.

R : logiciel d'analyse statistique qui fournit toutes les procédures usuelles (t-tests, anova, tests non paramétriques...) et possède des possibilités graphiques performantes pour visualiser les données.

Radiométrie : La radiométrie est la discipline qui étudie et mesure l'énergie transportée dans l'ensemble de la gamme des rayonnements depuis les grandes ondes radio jusqu'aux rayons cosmiques provenant de l'espace.

Système d'information géographique : est un système d'information permettant d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes.

Télédétection : Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Liste des principaux sigles utilisés :

ARS : Agence Régionale de Santé

CRIGE : Centre Régional de l'information Géographique

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement (Actuelle DREAL)

GRSP : Groupement Régional de Santé Publique

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

LR : Languedoc-Roussillon

MNT : Modèle Numérique de Terrain

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PIR : Proche Infra Rouge

SIG : Système d'Information Géographique

THRS : Très Haute Résolution Spatiale

ANNEXE

ANNEXE I

Cette couche permet de comparer les niveaux d'occupation du sol de Corine Land Cover (CLC) et de la nomenclature OCSOL CRIGE-PACA. Le CRIGE a fait évoluer certaines classes d'occupation du sol de CLC. Les informations sont plus complètes.

SUIVI DES EVOLUTIONS DE LA NOMENCLATURE OCSOL CRIGE-PACA					
Les types d'évolution :					
<ul style="list-style-type: none"> - création ou suppression d'un poste - regroupement d'un poste avec un autre poste - modification d'un intitulé 					
Intitulé CLC	CLC	Intitulé PACA 99	PACA 99	Intitulé PACA 2006	PACA 2006
Tissu urbain continu	111	Tissu urbain continu	111	Tissu urbain continu	111
Tissu urbain discontinu	112	Tissu urbain discontinu	112	Tissu urbain discontinu	112
		Bâti isolé	113	Bâti diffus	113
Zones industrielles ou commerciales	121	Zones industrielles ou commerciales	121	Zones industrielles ou commerciales	121
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	122	Réseaux routier et ferroviaire, réseaux de communication et espaces associés	122	Réseaux routier et ferroviaire, réseaux de communication et espaces associés	122
Zones portuaires	123	Zones portuaires	123	Zones portuaires	123
Aéroports	124	Aéroports	124	Aéroports	124
Extraction de matériaux	131	Extraction de matériaux	131	Extraction de matériaux	131
Décharges	132	Décharges	132	Décharges	132
Chantiers	133	Chantiers	133	Chantiers	133
Espaces verts urbains	141	Espaces verts urbains	141	Espaces verts urbains	141
Equipements sportifs et de loisirs	142	Equipements sportifs et de loisirs	142	Equipements sportifs et de loisirs	142
Terres arables hors périmètres d'irrigation	211	Serres	211	Serres (vide)	211
Périmètres irrigués en permanence	212	Terres arables autres que serres, zones à forte densité de serres et rizières	212	Terres arables autres que serres, zones à forte densité de serres et rizières	212
Rizières	213	Rizières	213	Rizières	213
		Zones à forte densité de serres	214	Zones à forte densité de serres	214
Vignobles	221	Vignobles	221	Vignobles	221
Vergers et petits fruits	222	Vergers et petits fruits	222	Vergers et petits fruits	222
Oliveraies	223	Oliveraies	223	Oliveraies	223
		Lavandins	224	Lavandins	224
Prairies	231	Prairies	231	Prairies	231
Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	241
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues	243	Territoires principalement occupés par l'agriculture	243	Territoires principalement occupés par	243

Tableau I1 : Classes d'occupation du sol par OCSOL-2006

par des espaces naturels importants		avec présence de végétation importante		l'agriculture avec présence de végétation	
Territoires agro-forestiers	244	Territoires agro-forestiers	244	Territoires agro-forestiers	244
		Territoires à dominante agricole avec présence d'habitat diffus résidentiel	245		
Forêts de feuillus	311	Forêts de feuillus	311	Forêts de feuillus	311
Forêts de conifères	312	Forêts de conifères	312	Forêts de conifères	312
Forêts mélangées	313	Forêts mélangées	313	Forêts mélangées	313
		Zones naturelles avec présence d'habitat résidentiel récent	314		
Pelouses et pâturages naturels	321	Pelouses et pâturages naturels	321	Pelouses et pâturages naturels	321
Landes et broussailles	322	Landes subalpines	322	Landes subalpines	322
Végétation sclérophylle	323	Maquis et garrigues	323	Maquis et garrigues	323
Forêt et végétation arbustive en mutation	324	Forêt et végétation arbustive en mutation	324	Forêt et végétation arbustive en mutation	324
Plages, dunes et sable	331	Plages, dunes et sable	331	Plages, dunes et sable	331
Roches nues	332	Roches nues	332	Roches nues	332
Végétation clairsemée	333	Végétation clairsemée	333	Végétation clairsemée	333
Zones incendiées	334	Zones incendiées	334	Zones incendiées	334
Glaciers et neiges éternelles	335	Glaciers et neiges éternelles	335	Glaciers et neiges éternelles	335
				Zones humides indifférenciées	400
Marais intérieurs	411	Marais intérieurs et tourbières de montagne	411	Marais intérieurs et tourbières de montagne	411
Tourbières	412	Tourbières	411		
Marais maritimes	421	Marais maritimes	421	Marais maritimes	400
Marais salants	422	Marais salants	422	Marais salants (tables salantes)	422
Zones intertidales	423	Zones intertidales	423	Zones intertidales	400
Cours et voies d'eau	511	Cours et voies d'eau	511	Cours et voies d'eau	511
Plans d'eau	512	Plans d'eau	512	Plans d'eau	512
Lagunes littorales	521	Lagunes littorales	521	Lagunes littorales	521
Estuaires	522	Estuaires	522	Estuaires	522
Mers et Océans	523	Mers et Océans	523	Mers et Océans	523

Tableau I2 : Classes d'occupation du sol de la base OCSOL-2006

CHARTRE GRAPHIQUE - NOMENCLATURE OCSOL 2006 PACA

CRIGÉ-PACA

Niv 1	Intitulé	RVB	Niv 2	Intitulé	RVB	Niv 3	Intitulé	RVB			
1	Territoires artificialisés	180 000 000	11	Zones urbanisées	180 000 000	111	Tissu urbain continu	180 000 000			
						112	Tissu urbain discontinu	255 000 000			
			12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	204 077 242	113*	Bâti diffus	255 100 100	121	Zones industrielles ou commerciales	204 077 242
						122	Réseaux routier et ferroviaire et réseaux de communication et espaces associés	121	Zones industrielles ou commerciales	179 000 000	
								122	Réseaux routier et ferroviaire et réseaux de communication et espaces associés	179 000 000	
						123	Zones portuaires	255 166 255	123	Zones portuaires	255 166 255
						124	Aéroports	255 077 255	124	Aéroports	255 077 255
						13	Mines, décharges et chantiers	166 000 204	131	Extraction de matériaux	166 000 204
			132	Décharges	176 176 176				132	Décharges	176 176 176
			14	Espaces verts artificialisés, non agricoles	255 128 128	141	Espaces verts urbains	255 128 128	133	Chantiers	219 219 219
									142	Equipements sportifs et de loisirs	255 102 102
			2	Territoires agricoles	255 255 000	21	Terres arables	255 255 000	141	Espaces verts urbains	255 128 128
									142	Equipements sportifs et de loisirs	255 102 102
									212	Terres arables autres que serres, zones à forte densité de serres et rizières	255 255 000
213	Rizières	230 242 000									
214*	Zones à forte densité de serres	255 255 176				212	Terres arables autres que serres, zones à forte densité de serres et rizières	255 255 000			
22	Cultures permanentes	242 204 166				221	Vignobles	242 204 166	213	Rizières	230 242 000
						222	Vergers et petits fruits	242 166 077	214*	Zones à forte densité de serres	255 255 176
						223	Oliveraies	230 166 000	221	Vignobles	242 204 166
						224*	Lavandins	255 124 080	222	Vergers et petits fruits	242 166 077
23	Prairies	205 205 102				231	Prairies	205 205 102	223	Oliveraies	230 166 000
24	Zones agricoles hétérogènes	255 230 166	241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	255 230 166	224*	Lavandins	255 124 080			
						231	Prairies	205 205 102			

Tableau I3 : Classe d'occupation du sol

						242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	255 230 077				
						243	Territoires principalement occupés par l'agriculture avec présence de végétation	230 195 000				
						244	Territoires agro-forestiers	230 128 000				
3	Forêts et milieux semi-naturels	076 230 000	31	Forêts	076 230 000	311	Forêts de feuillus	076 230 000				
						312	Forêts de conifères	028 099 000				
						313	Forêts mélangées	112 171 000				
						32	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	204 242 077	321	Pelouses et pâturages naturels	204 242 077	
									322*	Landes subalpines	166 255 128	
									323*	Maquis et garrigues	144 144 000	
									324	Forêt et végétation arbustive en mutation	115 192 000	
						33	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	194 194 194	331	Plages, dunes et sable	194 194 194	
									332	Roches nues	224 224 224	
									333	Végétation clairsemée	204 255 204	
334	Zones incendiées	072 072 072										
335	Glaciers et neiges éternelles	166 230 204										
4	Zones humides	000 192 192	40	Zones humides indifférenciées	000 192 192	400*	Zones humides indifférenciées	000 192 192				
						41	Zones humides intérieures	166 166 255	411	Marais intérieurs et tourbières de montagne	166 166 255	
									412	Tourbières	077 077 255	
						42	Zones humides maritimes	204 204 255	421	Marais maritimes	204 204 255	
									422	Marais salants (tables salantes)	166 166 230	
									423	Zones intertidales	230 230 255	
						5	Surfaces en eau	080 140 255	51	Eaux continentales	080 140 255	511
52	Eaux maritimes	144 180 255	512	Plans d'eau	096 202 255							
			521	Lagunes littorales	144 180 255							
			522	Estuaires	192 234 255							
			523	Mers et Océans	000 092 230							

Tableau I4 : Classe d'occupation du sol

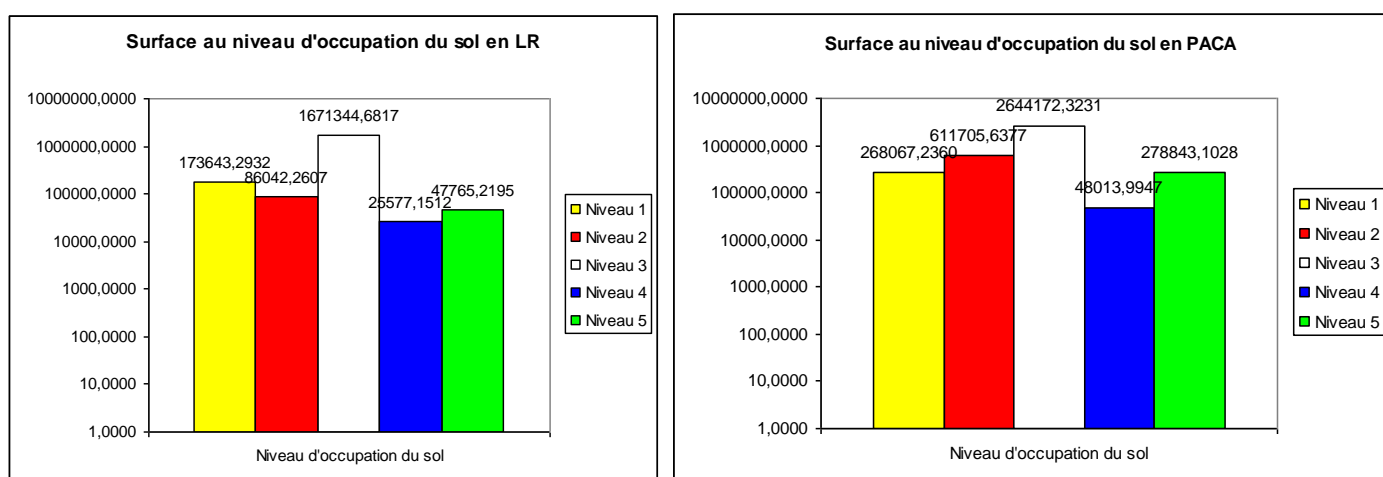


Fig. I1 : Surface totale (Ha) au niveau d'occupation du sol dans les régions LR et PACA

ANNEXE II

Comparaison de différentes cartes concernant l'allergie au pollen de cyprès. Nous pouvons trouver une tendance très similaire entre la densité de cyprès. Fig. II1 et II3 et la consommation de médicaments contre les rhinites Fig. II2. Les deux cartes produites par notre modèle montrent une plus faible densité dans l'Hérault (département 34).

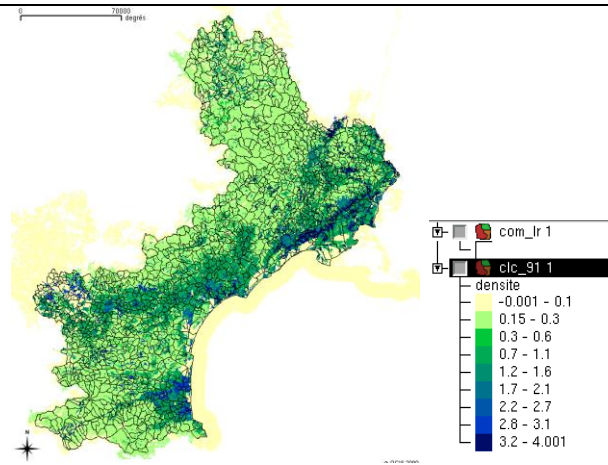


Fig. II1: *Densité de cyprès estimée au niveau de la couche CLC en région LR*

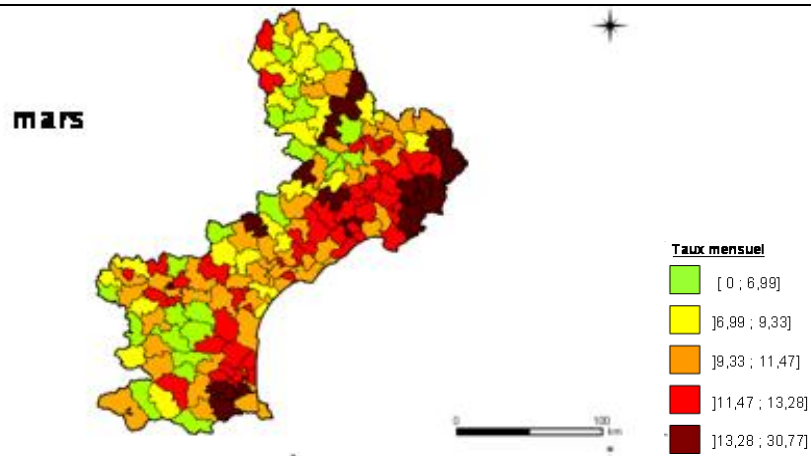


Fig. II2 : *Consommation médicamenteuse pour le traitement des rhinites dans la région LR en Mars 2004*

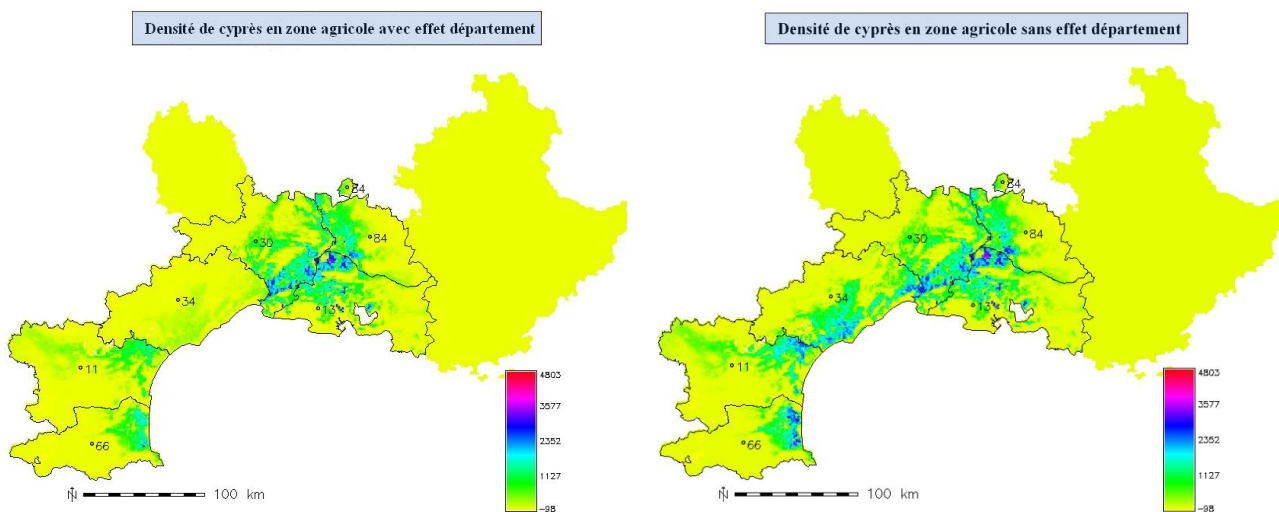


Fig.II3: *Estimation de la densité de cyprès (zone agricole) par notre modèle*

ANNEXE III

La cartographie des zones biogéographiques a été utilisée pour définir notre stratégie échantillonnage. Cette couche nous fournit une information sur la fragmentation de la zone écologique dans la région LR et PACA. Les départements correspondants aux zones : plaine littorale, corbières, bas Languedoc, couloir rhodanien et basse Provence ont été retenus.

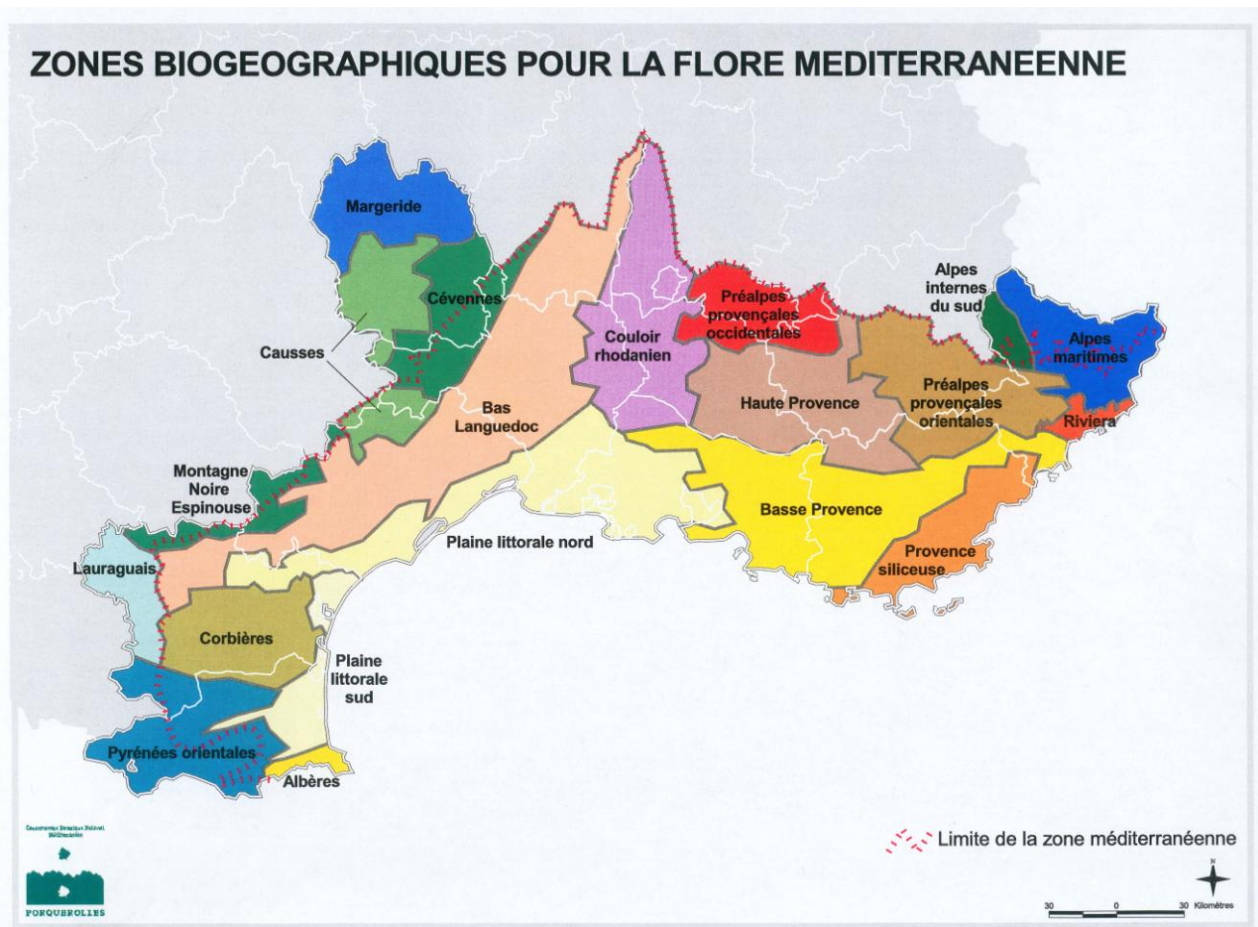


Fig. III : *Cartographie des zones biogéographiques pour la Flore méditerranéenne*

ANNEXE IV

Grâce au projet "CartoPollen". Nous pouvons observer la prévision cartographique des émissions de pollen de cyprès sur 4 jours en région Languedoc-Roussillon.

(https://www.supagro.fr/pollen/cartopollen/previsions_J.php)



Prévision des émissions de pollen de cyprès en région Languedoc-Roussillon*

Projet CartoPollen cofinancé par le

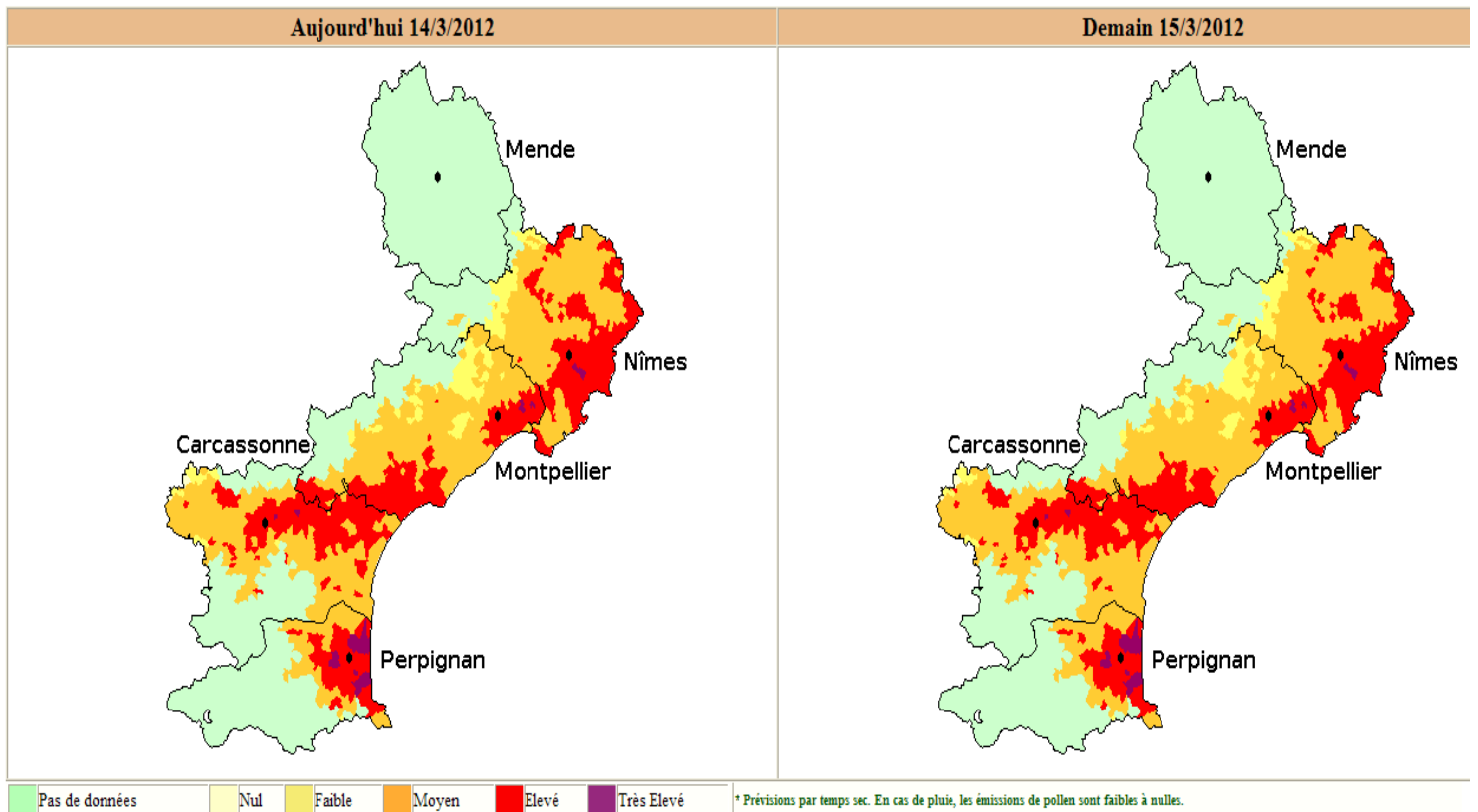


Fig. IV1 : Pr évision des émissions de pollen de cyprès en région LR (J, J+1)

Prévision des émissions de pollen de cyprès en région Languedoc-Roussillon*

Projet CartoPollen cofinancé par le

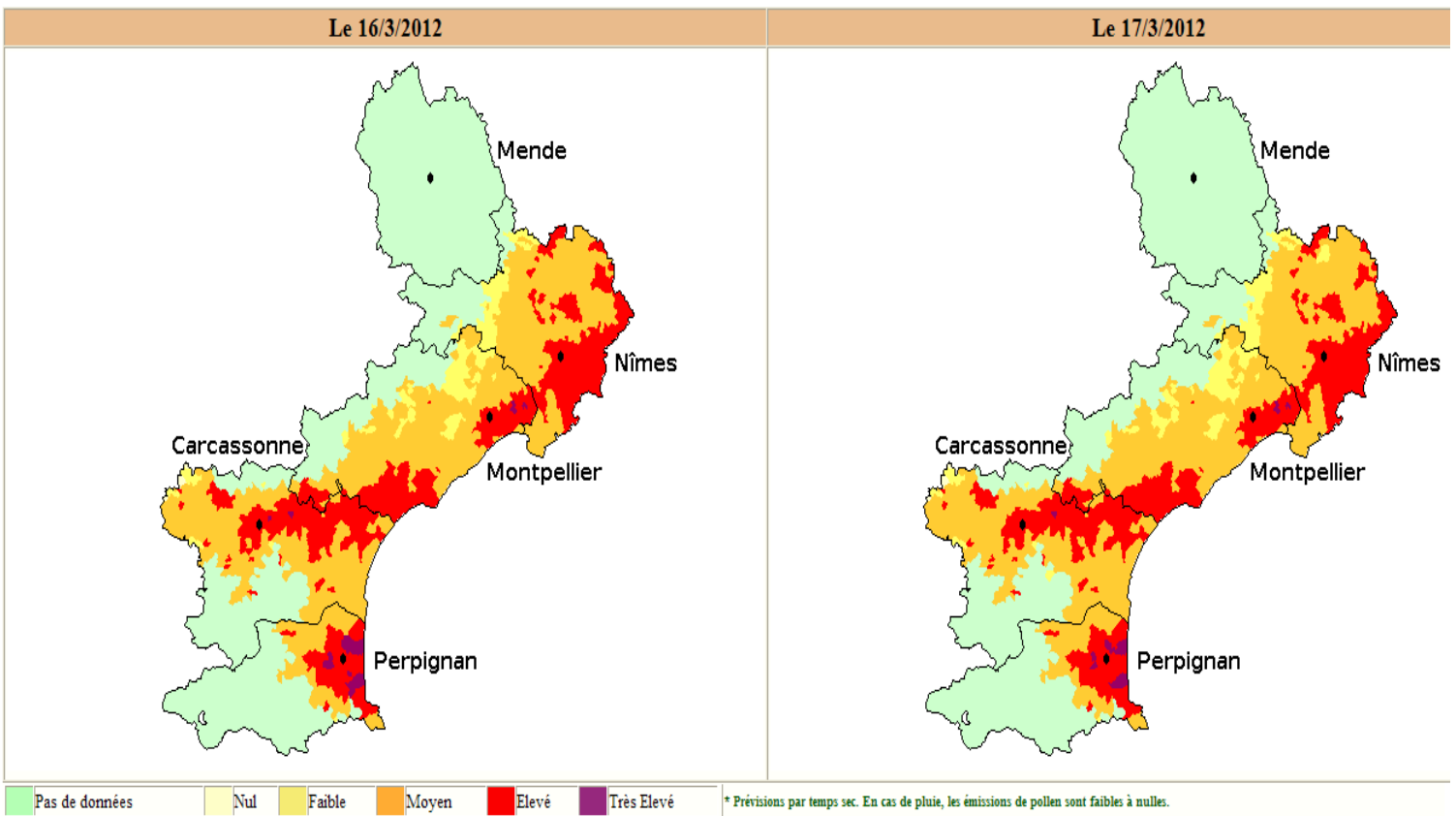


Fig. IV2 : Pr évision des émissions de pollen de cyprès en région LR (J+2, J+3)

ANNEXE V

Type de critère	Fonction	Signification
Critères spectraux	Mean Layer 1, 2, 3, 4	Valeur moyenne des pixels d'un objet pour un canal de l'image.
	Brightness	Somme de la valeur moyenne des canaux contenant une information spectrale divisée par leur quantité calculée pour un objet (moyenne des moyennes spectrales d'un objet).
	Ratio Layer 2, 3	Le ratio d'un canal pour un objet indique la contribution de ce canal à la brillance totale de l'objet.
	Mean difference to neighbors objects	Pour chaque objet voisin, la différence moyenne du canal concerné est calculé et pondéré en fonction de la longueur de la bordure existant entre les objets. La notion de voisinage (neighborhood) peut être paramétrée : elle peut concerner uniquement les voisins immédiats ou alors les objets d'une certaine surface autour de l'objet pour lequel le calcul est effectué.
Critères de forme	Area	La surface d'un objet correspond au nombre de pixels que le compose. Dans le cas d'une image géoréférencée, la surface de l'objet correspond à la surface réelle du pixel multipliée par le nombre de pixel composant l'objet.
	Density	La densité correspond à la surface couverte par un objet divisée par son rayon.
	Rectangular fit	La première étape dans le calcul de ce critère consiste à créer un rectangle ayant la même surface que l'objet considéré. Les proportions de l'objet en terme de largeur et hauteur sont prises en compte. La surface de l'objet non contenue dans le rectangle en ensuite comparée à la surface contenue dans le rectangle.
		La matrice de co-occurrence du niveau de gris (gray level co(occurrence matrix,
Critères de texture	GLCM Homogeneity	GLCM) est un résumé de la structure d'une image. La structure est l'organisation des éléments texturaux les uns par rapport aux autres c'est-à-dire les relations spatiales qui existent entre eux dans une image. Les calculs des critères de texture du logiciel Definiens sont basés sur les travaux de Haralick.
Critères topologiques	Relative border to ...	La bordure relative à ... fait référence à la longueur de la bordure partagée avec avec les objets voisins. Ce critère décrit le ratio entre la longueur de la bordure partagée par un objet donné avec les objets voisins assimilés à telle ou telle classe et la longueur totale de la bordure. Si la bordure relative d'un objet par rapport aux objets d'une classe donnée est 1, l'objet en question est totalement encerclé par ces objets classés.
	Relative area of ...	La surface relative de ... correspond à la surface couverte par les objets assimilés à une certaine classe dans un périmètre défini situé autour de l'objet que l'on étudie, divisé par la surface totale des objets situés dans ce même périmètre. Le rayon permettant de définir le périmètre peut être paramétré.
	Existence of super-object ...	Le critère Existence d'un super-objet ... permet de vérifier si le "super-objet", c'est-à-dire l'objet situé au-dessus de l'objet considéré, est assimilé à telle ou telle classe. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.
	Relative area of sub-object ...	La surface relative des sous-objets ... correspond à la surface absolue couverte par les "sous-objets" assignés à la classe considérée. Si les données sont géoréférencées, les valeurs obtenus correspondent à la surface réelle. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.

Tableau V : Fonctions d'appartenance testées pour le traitement de l'image sous eCognition

ANNEXE VI

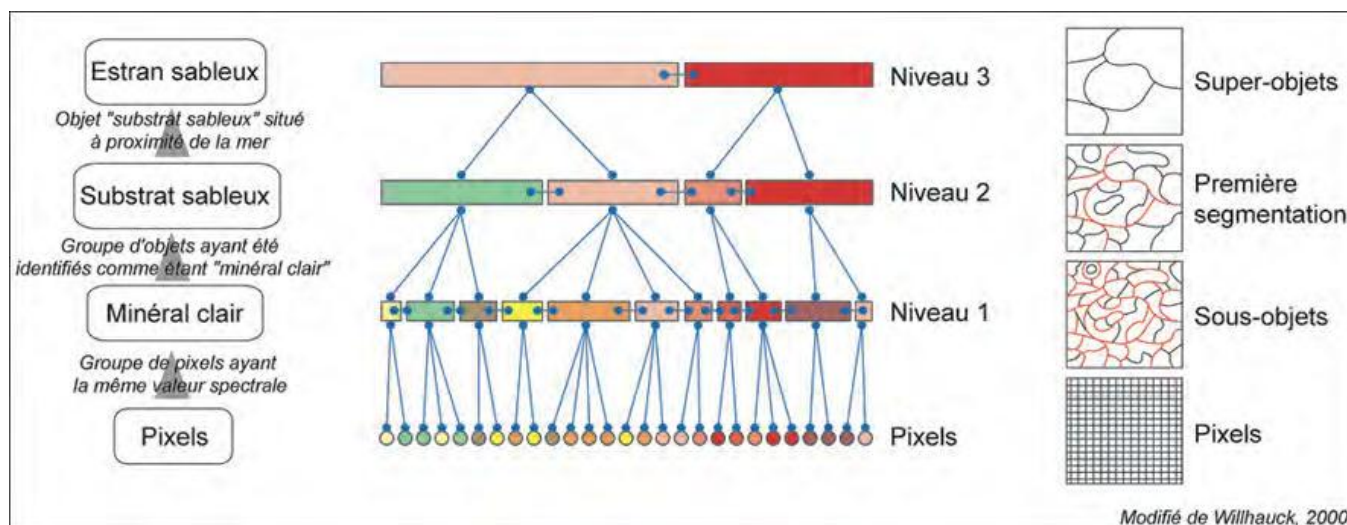


Fig. VI1 : Principes de la segmentation multi-résolution sous eCognition (modifié de Willhauck, 2000).

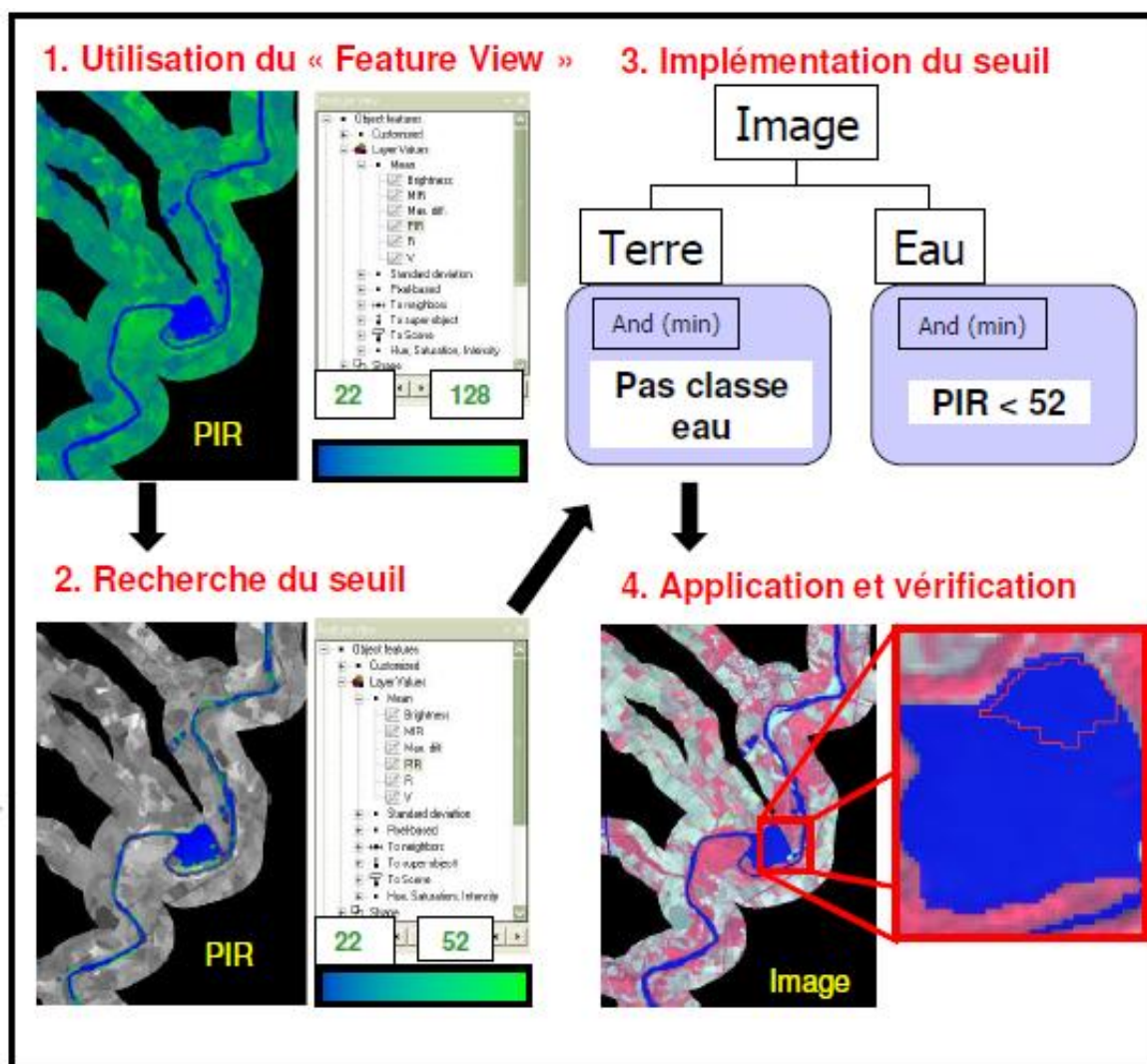
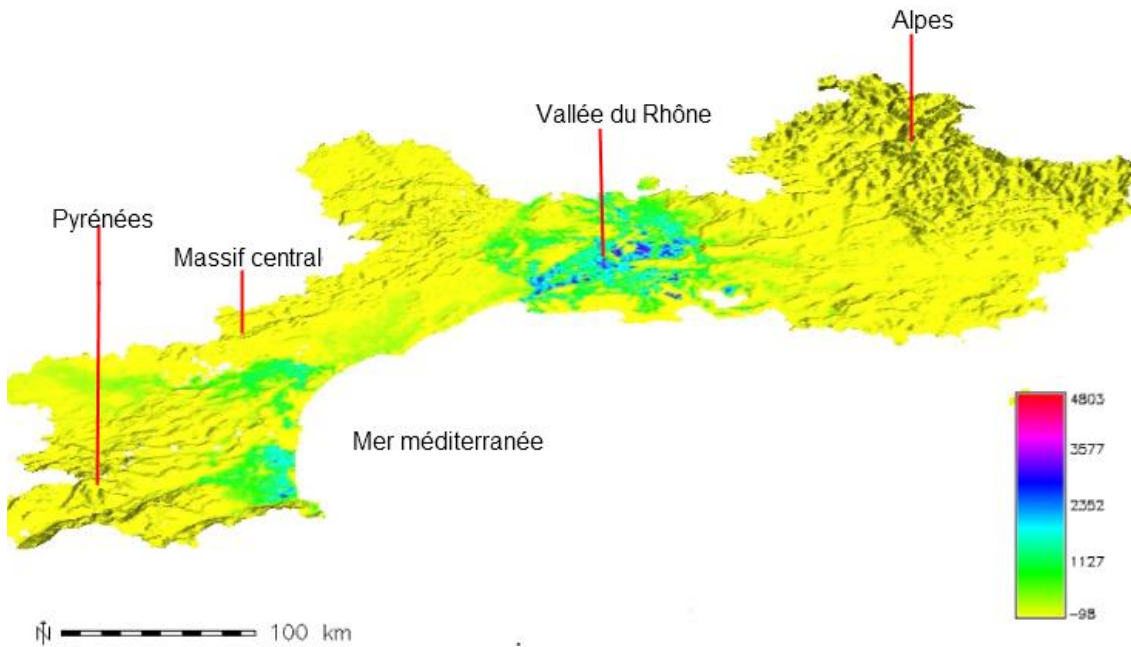


Fig. VI2 : Schéma de la classification par la fonction d'appartenance sous eCognition

ANNEXE VII

Densité de cyprès estimée avec effet département pour 6 départements de LR et PACA



Densité de cyprès estimée sans effet département pour 6 départements de LR et PACA

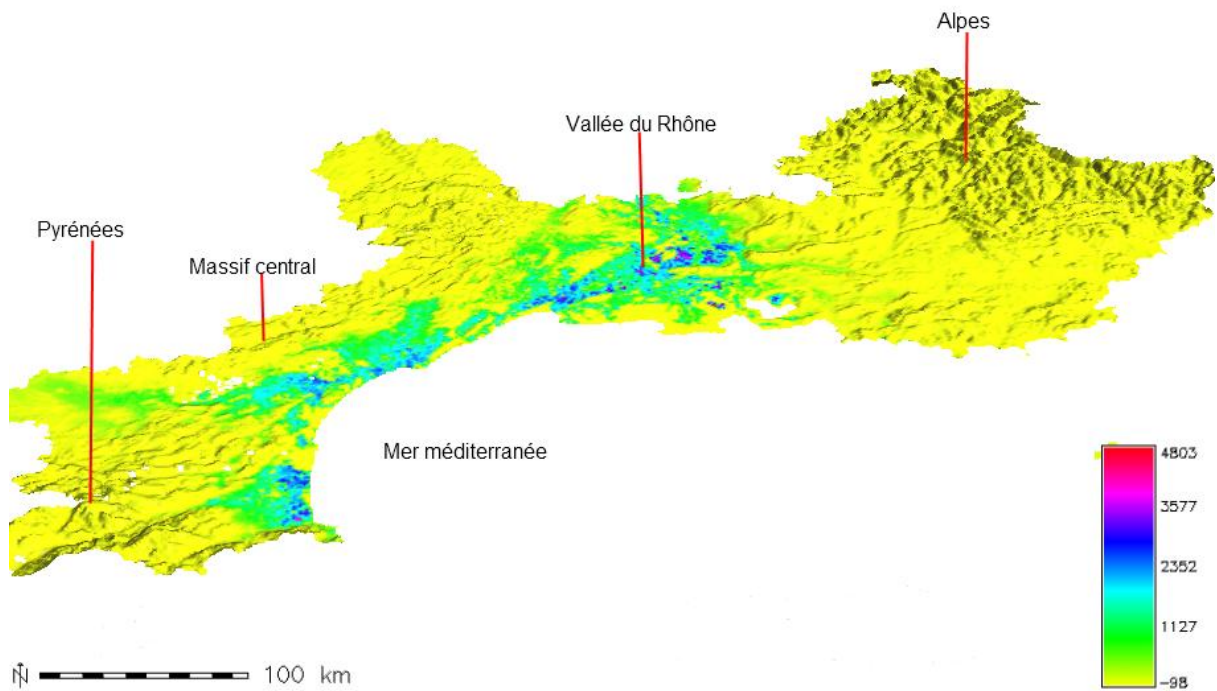


Fig. VII: Représentation en relief de la densité de cyprès estimée pour 6 départements LR et PACA