



Université de Toulouse

MASTER 2 GEOMATIQUE

« Sciences Géomatiques en environneMent et Aménagement » (SIGMA)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

RAPPORT DE STAGE

Protocole de contrôle des détections de surfaces brûlées potentielles issues d'une chaîne de traitements d'images satellitaires haute résolution sur la Nouvelle-Calédonie

LUIS Anne-Sophie

Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie - OEIL



Maître de stage : Fabien Albouy
Tuteur-enseignant : Martin Paegelow

Septembre 2018

Remerciements

Je tenais à adresser quelques sentiments de sympathie au travers de ces remerciements en faveur de toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenue pendant la réalisation de ce stage :

Je tiens à remercier tout particulièrement Fabien ALBOUY pour son accompagnement tout au long de mon stage, pour ses précieux conseils ainsi que pour la richesse de nos échanges.

Jean-François N'GUYEN VAN SOC du pôle système d'information, pour la pertinence de ses conseils, pour ses relectures minutieuses et appliquées, mais également pour avoir partagé la joie de la fusion spatio-temporelle et des tim-tam slam.

Adrien BERTAUD du pôle environnement, pour m'avoir prodigué des conseils très utiles à la suite de la relecture du présent rapport.

De manière générale, toute l'équipe de l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie pour leur chaleureux accueil au sein de la structure et pour leur agréable compagnie au quotidien. Je vous dis à Peluche pour de nouvelles aventures.

Martin PAEGELOW pour son encadrement, sa disponibilité et la pertinence de ses remarques lors de nos échanges.

Je tiens également à remercier l'ensemble du corps enseignant du Master SIGMA pour la qualité de leur formation et la transmission de leur savoir.

Aussi, je tiens à adresser des remerciements à mes camarades d'aventures de la promotion 2017-2018 du master SIGMA qui ont permis d'apporter un grain de folie durant ces 6 mois.

À Sandrine CAPBERN pour ses relectures patientes et son interprétation de la géomatique pleine d'humour.

À toutes les personnes avec qui j'ai partagé des moments sur cette magnifique « île » à la découverte de ces beautés exquises.

Une mention spéciale pour mes amis que je remercie simplement d'exister.

Enfin pour terminer, mes sincères remerciements à ma maman, pour ses encouragements et son soutien indéfectible au cours de mes années d'études qui s'achèvent avec le présent rapport.

Résumé

La Nouvelle-Calédonie est considérée comme un « hot spot » de la biodiversité mondiale. Elle est composée d'espèces animales et végétales dont la survie est impactée par les changements infligés aux milieux naturels. La fréquence et l'ampleur des incendies représentent une des principales pressions sur son environnement. Afin de caractériser les impacts sur le territoire, l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie a développé une chaîne de traitements de détection des surfaces brûlées exploitant des images satellitaires haute résolution. Le processus détecte les surfaces incendiées et trace leurs contours. L'utilisation des capteurs de Landsat 8 et Sentinel 2A et 2B permettent une revisite tous les 4 jours. Cependant, l'automatisation induit une part d'incertitude qu'il convient de gérer. Ce stage s'inscrit dans une volonté de contrôler les surfaces brûlées détectées, afin de qualifier les données produites et d'éliminer les éventuelles sur-détections. Le fort taux d'enneigement et les sols cuirassés représentent les principales sources de perturbation pour les capteurs des satellites. L'ampleur des aberrations issues des détections de Landsat 8 a conduit à arrêter le contrôle pour ce satellite. La vérification des détections de Sentinel est passée par la comparaison avec d'autres sources de données sur les incendies, des règles ont été appliquées pour encadrer la validation. Ainsi, une classification dépendante du type de substrat majoritaire et du nombre de jours de différence entre les surfaces brûlées de Sentinel et les données extérieures sur les incendies a été construite. L'ensemble des 27029 détections de Sentinel ont été contrôlées, 90% représentant des surfaces brûlées avérées.

250 mots

Mots clés : Incendie, chaîne de traitement automatisée, qualification, contrôle, sur-détection, persistance du signal, substrat.

New Caledonia can be referred to as a worldwide biodiversity hotspot. And thus because of the presence in numbers of species, animal and plants alike, whose survival are threatened by the changes to their natural habitat. The frequency and the magnitude of wildfires is one the major sources of pressure on the environment. In order to characterize the impacts on the territory, the *Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie* has developed a process to detect burnt areas using high-resolution satellite imagery. The process detects the burnt areas and draws their outlines. The information can be updated every four days using Landsat 8, Sentinel 2A and 2B sensors. However, automation induces a measure of uncertainty that needs to be dealt with. The aim of this internship was to control the detected burnt areas in order to qualify the produced data and remove the potential over-detections. The cloud coverage and crusted soil are factors that can influence detections. The level of aberration in the data for the Landsat 8 chain forced us to shutdown the control of this satellite. In order to diminish the uncertainty level, we had to cross the data with data on wildfires obtained from other sources. Rules were applied to make sure that the right criteria was obtained before validation. Thus, a classification based on the dominant geology and the number of days between detections from two different sources was created. All of the detection data from Sentinel have been controlled, 90% of which are proven burnt areas.

249 words

Key words : Wildfires, automated processing, qualification, control, over-detection, signal persistency, undergrowth.

Table des abréviations

OEIL : Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie

NC : Nouvelle-Calédonie

SIG : Système d'Information Géographique

NASA : National Aeronautics and Space Administration

ESA : European Space Agency

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

FIRMS : Fire Information for Resource Management System

Suomi NPP : Suomi National Polar-orbiting Partnership

VIIRS : Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

MSI : MultiSpectral Imager

OLI : Operational Land Imager

TIRS : Thermal Infrared Sensor

SVM : Support Vector Machine

DSCGR : Direction de la Sécurité Civile et de la Gestion des Risques

WWF : World Wildlife Fund

MOS : Mode d'Occupation du Sol

PPFF : Plan de massif de Protection de la Forêt contre le Feu

DIMENC : Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de la Nouvelle-Calédonie

Sommaire

REMERCIEMENTS	1
RESUME	2
TABLE DES ABREVIATIONS	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION	1
1.PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE	2
1.1. LE CADRE DU STAGE.....	2
1.1.1. LE TERRITOIRE D'ACCUEIL	2
1.1.2. LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	3
1.1.3. L'ORGANISATION FONCTIONNELLE DE L'OEIL.....	4
1.2. CONTEXTUALISATION.....	4
1.3. LES OBJECTIFS DU STAGE.....	4
2.ZONES D'ETUDES, DONNEES ET METHODOLOGIE	5
2.1. LA ZONE D'ETUDE.....	5
2.2. DESCRIPTION DES DONNEES RELATIVES A L'ETUDE.....	5
2.2.1. LA CHAINE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES	5
2.2.2. LES DONNEES UTILISEES.....	9
2.3. LE CONTROLE DES SURFACES BRULEES POTENTIELLES	14
2.3.1. LA SUCCESSION PREFERENTIELLE DES ETAPES DE CONTROLE	14
2.3.2. CONTROLE DE L'ASPECT SEMANTIQUE	15
2.3.3. L'IDENTIFICATION DES ABERRATIONS.....	16
2.3.4. LA VALIDATION PAR LE BIAIS DE DONNEES COMPLEMENTAIRES SUR LES INCENDIES.....	24
2.3.5. LA VERIFICATION DES SURFACES BRULEES RESTANTES PAR PHOTO-INTERPRETATION	32
3.RESULTATS ET DISCUSSION	34
3.1. PRESENTATION DES RESULTATS.....	34
3.1.1. PRESENTATION DU DEGRE DE CERTITUDE ASSOCIE AUX SURFACES BRULEES	34
3.2. LES LIMITES ASSOCIEES AU PROTOCOLE DE CONTROLE DES DONNEES.....	35
3.2.1. LES LIMITES LIEES AUX DONNEES UTILISEES POUR LES CROISEMENTS	35
3.2.2. LES LIMITES ASSOCIEES AUX CHOIX EFFECTUES EN INTERNE	37
3.2.3. LES LIMITES LIEES AUX TAUX DE RECOUVREMENT NUAGEUX.....	39
3.2.4. LES LIMITES GENERALES DU CONTROLE DES DONNEES.....	40
3.3. S'APPROCHER DE L'EVENEMENT INCENDIE.....	41
3.3.1. FUSION SPATIO-TEMPORELLE 1.....	41
3.3.2. FUSION SPATIO-TEMPORELLE 2.....	42

4.BILAN ET PERSPECTIVES	45
4.1. CONCLUSION.....	45
4.2. CONCLUSION PERSONNELLE	46
4.3. PERSPECTIVES D'EVOLUTION	47
REFERENCES	49
TABLE DES FIGURES	50
TABLE DES TABLEAUX.....	51
TABLES DES MATIERES	52
ANNEXES	55

Introduction

« *Regardez comme la Terre est belle, regardez ce que nous sommes en train de détruire, mais surtout regardez toutes ces merveilles qu'il nous reste encore à préserver* », écrit Yann Arthus-Bertrand. La succession des images évoquées par l'auteur prend sens face aux problématiques qui coexistent sur le territoire calédonien. Plus que jamais, la Nouvelle-Calédonie est face à son destin.

La protection de la richesse qui caractérise son milieu naturel est devenue urgente. Les milieux primaires qui ornaient le territoire disparaissent sans que les tentatives de leur redonner les couleurs d'antan puissent aboutir. Les espèces endémiques sont remplacées par des espèces invasives négligemment introduites depuis des décennies. Les montagnes rouges sont évidées pour extraire le nickel et le cobalt présents en quantité sur le territoire.

La tenue du référendum d'indépendance occupe actuellement toutes les pensées. Le destin commun du « Caillou » et de la métropole sera-t-il scellé ? Qu'en sera-t-il de la gestion de l'environnement qui pour l'heure est propre à chaque province ?

Les catastrophes naturelles s'octroient le droit de dépasser les frontières établies par l'homme. La crue part de l'amont pour rejoindre l'aval, la vague part de la mer pour aller sur la terre, l'incendie part d'une infime étincelle pour embraser toute une forêt. Face à la menace des aléas naturels, il est essentiel de réfléchir conjointement à des solutions sur le long terme. Les efforts de sauvegarde du milieu doivent persévérer. Pour qu'ils ne soient pas vains, des politiques de gestion de l'environnement doivent se multiplier.

En parallèle à l'introduction d'une gouvernance commune, la caractérisation de l'état du milieu est primordiale. Comment agir si les impacts ne sont pas clairement identifiés ? Des suivis nécessitent d'être réalisés, sans lesquels l'ampleur de la gravité de l'impact environnemental des pressions ne pourra être révélée. Surveiller les milieux permet d'orienter les gestionnaires vers les actions à mener pour enrayer les détériorations qui lui sont imposées.

La surveillance du milieu est aujourd'hui, plus qu'hier, facilitée par les technologies d'observation de la terre. Depuis 1972 avec la famille Landsat, les satellites sont au service de notre planète en transmettant des informations sur son état de santé. Au fil des décennies les progrès techniques ont permis de disposer de capteurs toujours plus performants. Grâce à ces outils, la transmission d'informations est quotidienne, constante et objective. Ces aspects permettent de constituer d'excellents outils de suivi des impacts environnementaux. L'accessibilité nouvelle aux images satellitaires renforce l'attrait des acteurs pour les techniques de la télédétection.

S'inscrivant dans cette lignée, l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie met un point d'honneur à réaliser des suivis des milieux afin de caractériser les pressions qui lui sont imposées. Suivi de l'état des coraux, impact de l'extraction minière, déforestation ou incendies, l'observatoire œuvre sur de multiples enjeux. Conscient de l'utilité des satellites pour surveiller l'évolution des aléas naturels, l'observatoire a notamment développé une chaîne de traitement exploitant des images satellitaires haute résolution. Elle a pour vocation de détecter les surfaces incendiées sur le territoire et de dessiner leurs empreintes. L'avantage d'utiliser un suivi par satellite repose sur la détection de nombreuses surfaces incendiées dont la taille pourra être quantifiée, et ce, même si elles sont situées dans des zones difficiles d'accès.

L'étude des traces d'incendies n'a pour l'heure pas été menée à grande échelle sur le territoire calédonien. Seules des informations hétérogènes et incomplètes voire même imprécises sont disponibles. Les résultats du processus, en fournissant de manière répétitive des surfaces brûlées fines,

permettront de produire un bilan régulier de l'impact des incendies. C'est dans l'optique de contrôler les surfaces brûlées détectées par les satellites que ce stage a été conçu. Qualification et quantification sont les maîtres mots régnant sur un protocole de contrôle des données à construire avec, pour finalité, de réaliser le premier bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie.

1. Présentation du cadre de l'étude

1.1. Le cadre du stage

1.1.1. Le territoire d'accueil

La Nouvelle-Calédonie est un archipel situé entre la mer de Corail et l'océan Pacifique Sud. Elle est composée d'une île principale communément appelée « Grande Terre » et d'un ensemble d'îles dont la surface est résolument plus petite. La superficie totale du territoire calédonien est de 18 575,5 km².

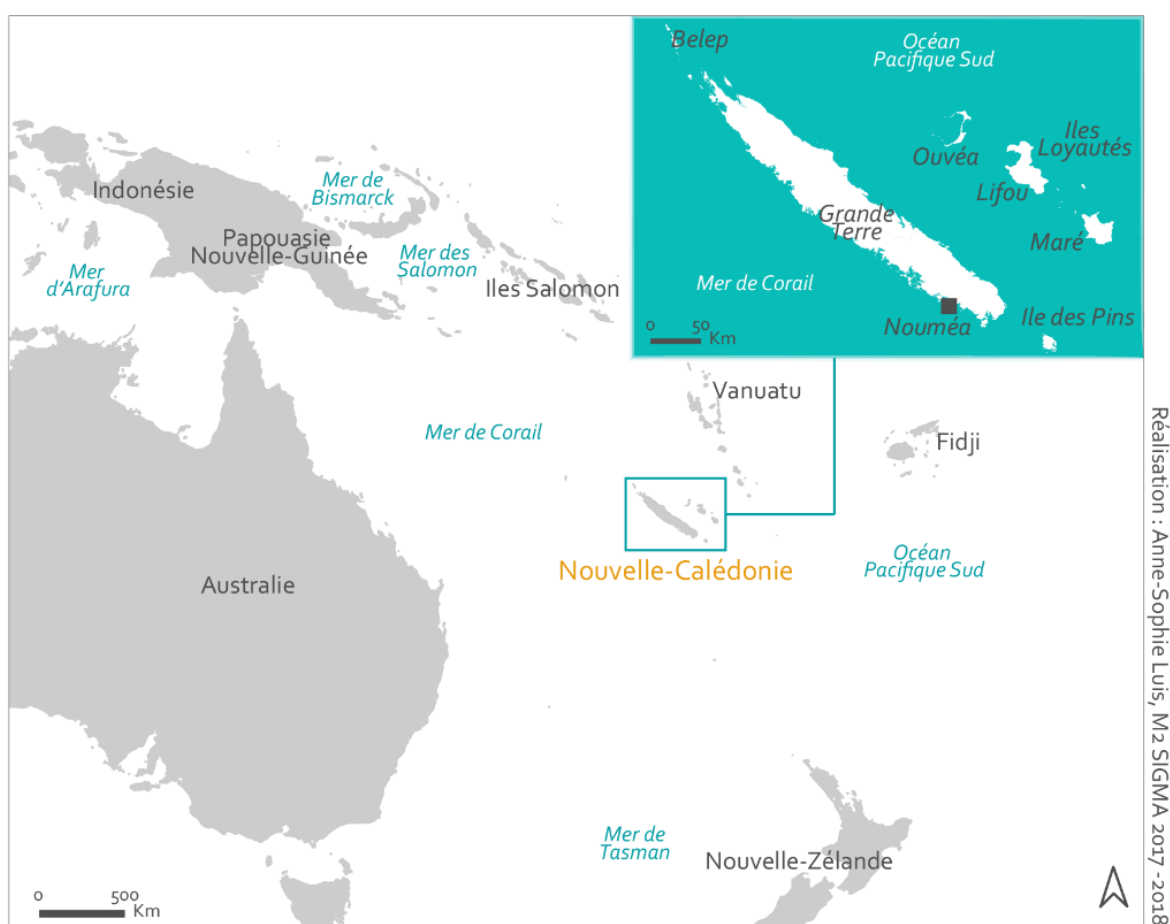


Figure 1 : Carte de localisation de la Nouvelle Calédonie
Sources de données : thematicmapping.org, Gouvernement NC

Elle bénéficie d'une organisation institutionnelle particulière qui diffère du statut de collectivité d'outre-mer classique. Les termes de ce statut sont définis par la loi Organique du 19 mars 1999, née de l'Accord de Nouméa en date du 5 mai 1998, qui fixe les termes dans lesquels s'inscrivent le mode de fonctionnement ainsi que les attributions du territoire. Notons que l'accord de Nouméa prévoit la tenue d'un référendum sur l'obtention de la pleine souveraineté le 4 novembre prochain.

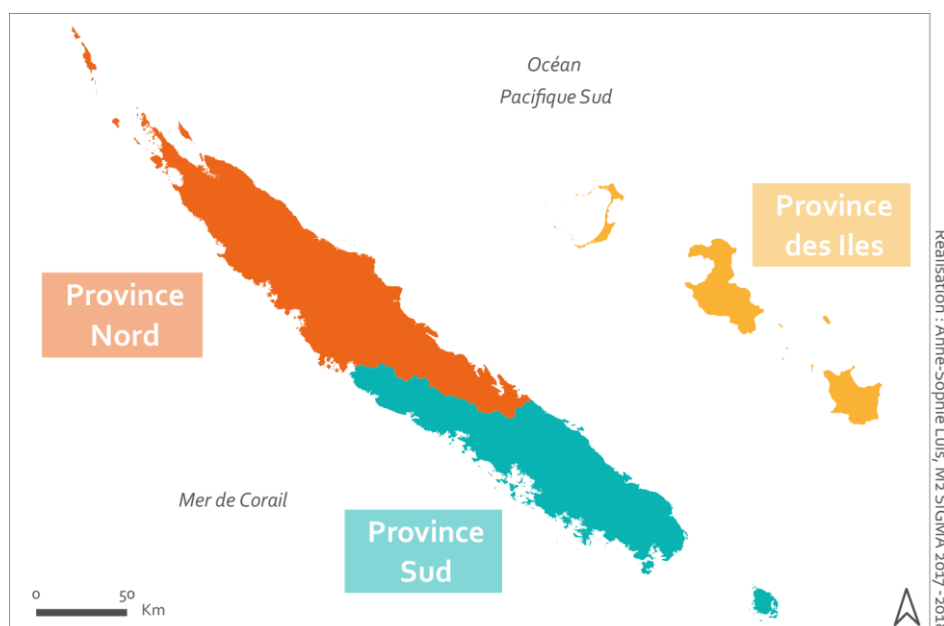


Figure 2 : Visualisation de la séparation du territoire en trois Provinces

Sources des données : OEIL, Gouvernement NC

Le territoire calédonien est découpé en trois collectivités territoriales appelées « Province », elles regroupent 33 communes. L'échelon provincial créé dans le but de redynamiser le territoire, se voit octroyer par la loi Organique, des domaines de compétences importants comme notamment la protection de l'environnement, la gestion des milieux terrestres et maritimes, de la ressource en eau et de la prévention des risques et des pollutions. De fait, elles sont libres de définir leurs propres textes juridiques. Trois codes de l'environnement coexistent ainsi, sans volonté affichée de parvenir à une réflexion commune pour l'ensemble du territoire.

1.1.2. La structure d'accueil

L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie, également appelé OEIL, est une association de loi 1901 créée le 22 avril 2009. Ses missions s'articulent notamment autour de l'apport d'informations sur l'état de l'environnement aux décideurs. Eclairer les décisions des acteurs de l'environnement est également une compétence de l'observatoire. Elle vise à les accompagner dans leurs démarches de gestion des impacts liés à leurs activités.

Les missions que mène l'OEIL s'organisent autour de trois axes majeurs d'action, à savoir la surveillance, l'information et l'optimisation.

La surveillance passe par la réalisation de suivis de l'état environnemental. Ces suivis ont pour vocation de suivre l'évolution des milieux et de détecter d'éventuelles perturbations.

Le volet informatif vise à relayer les résultats des études pour informer les décideurs, les gestionnaires mais également le grand public. La transmission de l'information est réalisée par le biais de conférences, de la participation à des événements locaux ainsi que via des supports de communication. L'information est accessible en ligne, où des plateformes de visualisation permettent de prendre connaissance des données et de leur répartition spatiale. L'objectif principal de cette mission est de rendre accessible l'information environnementale à tous en employant la vulgarisation si nécessaire.

Enfin, l'optimisation fait état de la volonté de développer et d'améliorer les méthodes de suivi employées en partenariat avec les scientifiques et les gestionnaires. La création d'indicateurs environnementaux de suivis représente une action phare visant à rendre opérationnels les suivis.

Ces actions sont menées prioritairement sur la zone du Grand Sud, répondant au secteur d'influence de la mine de Goro appartenant au groupe brésilien Vale. Plus largement, ces missions sont déployées sur les communes alentour du Grand Sud. Certaines études sont déployées à l'échelle de la Province Sud voire à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie.

1.1.3. L'organisation fonctionnelle de l'OEIL

L'OEIL a été créé à la suite d'un consensus entre la Province Sud et l'entreprise de nickel Vale Inco. La Province exigeait qu'un suivi environnemental soit établi pour encadrer les impacts du projet d'usine Goro-Nickel prévu pour 2010. L'OEIL, entité tierce financée par les deux parties, a ainsi été créée afin notamment de vérifier la véracité des suivis effectués par l'usine elle-même, puis de communiquer les résultats aux populations.

Le Conseil d'Administration de l'association est chargé de définir les orientations stratégiques de l'observatoire. Les membres du Conseil d'Administration sont élus pour trois ans au sein de leur collège par l'Assemblée Générale. Elle est composée de 25 membres et répartie autour de six collèges.

L'observatoire est également composé d'un secrétariat exécutif représenté par les 9 membres de l'équipe salariale oeuvrant pour mettre en place les décisions des administrateurs de l'OEIL. Il s'appuie sur un conseil scientifique qui permet d'apporter un regard critique et une expertise dans les choix techniques à mettre en œuvre et leur pertinence. Il est composé d'experts couvrants les principaux domaines de l'environnement. Ces membres prodiguent leur expertise de manière bénévole et sont engagés sur l'honneur à ne pas avoir de conflit d'intérêts avec les acteurs industriels et économiques, qui serait de nature à remettre en cause l'impartialité de leur jugement et de leurs opinions scientifiques.

1.2. Contextualisation

Le suivi des impacts environnementaux des incendies en Nouvelle-Calédonie résulte d'un constat alarmant faisant état du manque d'études consacrées au suivi des conséquences induites par les feux sur le territoire calédonien. Les incendies, du fait de leur ampleur et de leur fréquence, exercent une pression considérable sur ces milieux. Ainsi, l'identification, la quantification et le suivi des surfaces incendiées sont nécessaires pour rendre compte de l'impact de ces derniers sur l'environnement.

C'est dans une démarche de caractérisation de la pression environnementale liée aux incendies, que l'OEIL a développé en 2015 une chaîne de traitement automatisée permettant de détecter les surfaces incendiées. Ce processus s'appuie sur un service déjà existant de la NASA qui intègre les informations de trois satellites : Aqua MODIS, Terra MODIS et Suomi NPP. Depuis début 2018, l'efficacité de ce processus a permis de mettre à disposition un système d'alerte incendies aux acteurs publics et parapublics mais également aux particuliers par le biais du portail VULCAIN.

La haute fréquence de revisite des satellites impliqués font de ces données une source fiable pour fournir des alertes. En revanche, la faible résolution spatiale des surfaces brûlées générées a incité l'OEIL à travailler sur le traitement à partir de données satellitaires plus précises issues des satellites Sentinel 2 et Landsat 8. Les résultats générés sont perçus comme plus pertinents pour une quantification des surfaces brûlées.

1.3. Les objectifs du stage

L'OEIL a souhaité recruter un stagiaire afin de traiter les données issues de la chaîne de traitement des images satellitaires mise en place par leur prestataire. Ces données n'ont jamais été réellement étudiées, mise à part dans le cadre d'un travail de qualification sur un petit échantillon de données issues de la première version de la chaîne de traitement, ou sur la fourniture d'informations

sur des secteurs géographiques de surfaces modeste comme Bélep. De fait, l'OEIL, après avoir modifié la chaîne de traitement, désireait posséder un protocole de contrôle des données qui pourrait être réutilisé pour qualifier les futures surfaces brûlées détectées. Ces données serviront à alimenter le bilan annuel des impacts environnementaux des incendies en Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, l'objectif principal du stage relevait de la qualification de la base de données des surfaces brûlées potentielles. Cette qualification s'est faite au travers de la mise en place d'un protocole de contrôle des données. Ce travail devait également permettre de déceler les sur-détections dont la part n'était pour l'heure pas mesurable.

La qualification de la donnée devra s'appuyer sur l'utilisation de données multi-sources en établissement des règles de gestion pour disposer d'une base de données consolidée avec un degré de certitude important.

Armée d'une base de données dont la qualité a été contrôlée, la deuxième partie du stage concernera la rédaction du bilan de l'impact environnemental des incendies. Des données d'intérêts sur l'environnement calédonien seront croisées avec les surfaces brûlées afin de mettre en exergue les impacts consécutifs aux incendies. Ce volet ne sera pas traité dans le présent rapport, des simples croisements de données avec des couches d'intérêts sur l'environnement ayant été réalisés pour chiffrés les impacts.

Deux rapports seront attendus, un concernant le protocole de contrôle des surfaces brûlées, le deuxième représentant le bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie.

L'Annexe 1 : Permet de visualiser l'organisation et le déroulement des tâches rattachées à ce stage.

2. Zones d'études, données et méthodologie

2.1. La zone d'étude

L'étude des incendies n'est affiliée spécifiquement à aucune entité en Nouvelle-Calédonie. Malgré l'ampleur de la problématique que les incendies représentent, aucun suivi n'est réalisé à l'échelle du territoire. Dans la même lignée que le processus d'alertes sur les incendies que l'observatoire a rendu accessible à tous, il a souhaité que le suivi des impacts environnementaux soit réalisé sur l'ensemble du territoire afin que les conséquences des feux de forêts puissent être identifiables et quantifiables à l'échelle du pays. De plus, l'utilisation de données libres permet de travailler aisément sur des grandes emprises spatiales.

2.2. Description des données relatives à l'étude

2.2.1. La chaîne de traitement des images satellitaires

La détection des surfaces brûlées passe par une chaîne de traitement des images satellitaires permettant de définir les zones qui ont brûlé et de délimiter leurs contours. Les méthodes et techniques de la télédétection utilisant les caractéristiques intrinsèques des objets à la surface de la terre, notamment l'état de la végétation permettant de faciliter la détection de phénomènes comme les feux à grande échelle. De plus, le fonctionnement en processus permet de réitérer l'opération de détection des incendies pour chaque image satellitaire et ce, de façon automatique.

La chaîne de traitement a été développée sur la période 2015-2017 par les entreprises TELESPIAZIO et INSIGHT dans le cadre de la réponse à un appel d'offre émis par l'OEIL. Ce dernier pointait le besoin de disposer d'une solution algorithmique utilisant des images optiques gratuites pour détecter les surfaces brûlées du territoire calédonien.

2.2.1.1. Les images utilisées

Les nombreux travaux établis sur l'étude de la réponse spectrale des feux indiquent une réponse plus significative dans les longueurs d'ondes rouge à proche infrarouge voire moyen infrarouge notamment en lien avec la présence de cendres et de résidus de calcination après un incendie. Il était donc nécessaire d'intégrer des satellites dont les capteurs possédaient des bandes spectrales adaptées. Les satellites Landsat 8 et Sentinel 2A et 2B ont été considérés comme les sources optiques les plus pertinentes. En effet, ils possèdent tous deux des capteurs avec des bandes spectrales dans le visible, dans le proche infra-rouge mais également dans le moyen infra-rouge. Landsat-8 possède en outre un capteur infra-rouge thermique. Ainsi, l'emploi de ces deux sources d'images utilisées en constellation, permet une revisite du territoire tous les 16 et 5 jours, respectivement pour Landsat et Sentinel. Le rapport méthodologique de la chaîne de traitement met en avant un « potentiel de 95 acquisitions annuelles soit une revisite environ tous les 4 jours avec les 3 capteurs opérationnels ».

2.2.1.1.1. Les images des satellites Sentinel 2

La mission qui a lancé les satellites Sentinel 2 fait partie du programme Copernicus, d'observation et de surveillance de la Terre mené par l'Union Européenne. Les images des satellites Sentinel 2A et 2B sont utilisées pour alimenter le processus. L'ensemble de la chronique d'images disponibles a été exploité. Elle débute le 13 novembre 2015 et s'achève au 31 mars 2018 pour cette étude, ce qui représente 2 358 dalles traitées. À noter que les images de Sentinel 2B ont été disponibles à partir de juillet 2017 pour la Nouvelle-Calédonie. Ce couple de satellites permet d'avoir une période de revisite des satellites sur le territoire calédonien très fréquente. En effet, avant la mise en service de Sentinel 2B, la fréquence de revisite était de 10 jours, et depuis l'introduction de ce dernier, elle est passée à 5 jours. La résolution spatiale par pixel est de 10, 20 ou 60 mètres en fonction des bandes spectrales.

Les satellites Sentinel 2-A et 2-B sont équipés d'un capteur multispectral appelé MultiSpectral Imager (MSI) couvrant 13 bandes spectrales dans le visible et l'infrarouge, dont les longueurs d'ondes sont présentées dans le tableau 1 :

Numéro de la bande spectrale	S2A	S2B	Domaine	Résolution spatiale (m)
	Longueur d'onde centrale (µm)	Longueur d'onde centrale (µm)		
1	0,4439	0,4423	Bleu coastal	60 * 60
2	0,4966	0,4921	Bleu	10 * 10
3	0,5600	0,559	Vert	
4	0,6645	0,665	Rouge	
5	0,7039	0,7038	Red Edge 1	20 * 20
6	0,7402	0,7391	Red Edge 2	
7	0,7825	0,7797	Red Edge 3	
8	0,8351	0,833	Proche Infra-rouge 1	10 * 10
8a	0,8648	0,864	Proche Infra-rouge 2	20 * 20
9	0,9450	0,9432	Vapeur d'eau	60 * 60
10	1,3735	1,3769	Moyen Infra-rouge Cirrus	
11	1613.7	1610.4	Moyen Infra-rouge 1	20 * 20
12	2202.4	2185.7	Moyen Infra-rouge 2	

Tableau 1 : Description des bandes spectrales du capteur MSI de Sentinel 2

Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées. Site internet de l'ESA

Les 16 dalles nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie sont présentées dans la figure 3 ci-dessous :

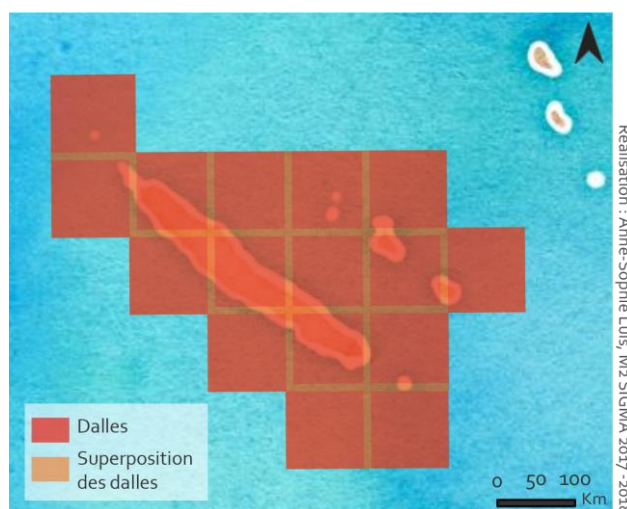


Figure 3 : Emprise des dalles de Sentinel 2 nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie
Sources de données : Site internet Alsace Kalideos. Fond de carte : Stamen's Watercolor tileset

2.2.1.1.2. Les images du satellite Landsat 8

La mission Landsat représente le premier programme spatial d'observation de la Terre destiné à des fins civiles. Il est encadré par la National Aeronautics and Space Administration et l'United States Geological Survey. Huit satellites ont été déployés depuis le lancement de la mission. Le satellite Landsat 8 a été mis en orbite en 2013. La chronique d'images utilisée pour cette étude débute le 13 mai 2013 et se termine au 31 mars 2018, ce qui représente 953 dalles traitées. Il possède une période de revisite de 16 jours associée à une résolution spatiale de 30 mètres au sol pour la majorité des bandes spectrales, de 15 mètres pour le panchromatique et de 100 mètres pour les bandes infra-rouges thermiques.

Landsat 8 est équipé d'un capteur multispectral appelé Operational Land Imager (OLI) et d'un capteur infrarouge thermique (TIRS). Les 11 longueurs d'ondes disponibles sont présentées dans le tableau 2 :

Numéro de la bande spectrale	Longueur d'onde (μm)	Domaine	Résolution spatiale (m)
1	0,435 - 0,451	Bleu coastal, proche ultra-violet	30 * 30
2	0,452 - 0,512	Bleu	
3	0,533 - 0,590	Vert	
4	0,636 - 0,673	Rouge	
5	0,851 - 0,879	Proche Infra-rouge	
6	1,566 - 1,651	Moyen Infra-rouge 1	
7	2,107 - 2,294	Moyen Infra-rouge 2	
PAN	0,503 - 0,676	Panchromatique	15 * 10
Cirrus	1,363 - 1,384	Bande Moyen Infra-rouge Cirrus	30 * 30
10	10,60 - 11,19	Infra-rouge Thermique 1	100 * 100
11	11,50 - 12,51	Infra-rouge Thermique 2	

Tableau 2 : Description des bandes spectrales du capteur OLI de Landsat 8

Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées

Les 11 dalles nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie sont présentées dans la figure 4 ci-dessous :

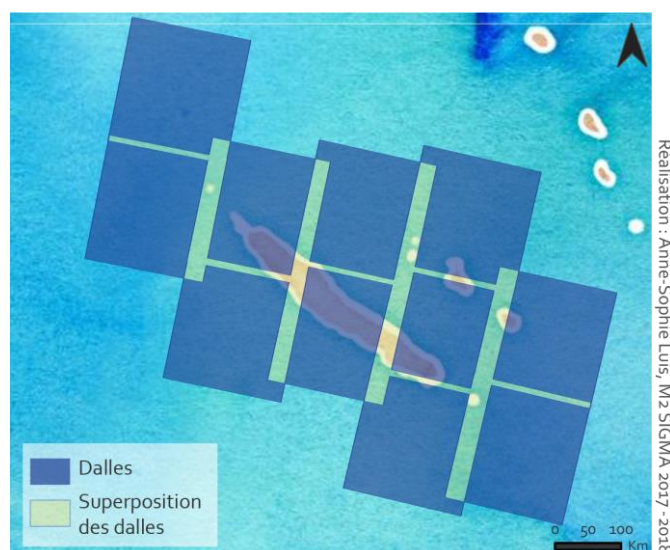


Figure 4 : Emprise des dalles de Landsat 8 nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie
Sources de données : OEIL. Fond de carte : Stamen's Watercolor tileset

2.2.1.2. Principe de la méthode

La chaîne de traitement de détection des surfaces brûlées repose sur une classification supervisée de type « Support Vector Machine ». La phase d'apprentissage a été réalisée de manière binaire en distinguant les zones brûlées de tout ce qui ne s'apparentait pas à des traces de passages d'incendie. Les échantillons d'entraînements ont été sélectionnés à partir d'une base de données Excel de l'OEIL répertoriant des incendies vérifiés sur le terrain, mais également sur des couches vectorielles de levés aéroportés d'incendies identifiés par la Direction de la Sécurité Civile et de la Gestion des Risques. Au total, le bureau d'études souligne l'utilisation de 20 000 pixels pour Sentinel 2 et 6 000 pour Landsat 8. Ainsi, ces données d'apprentissage vont permettre au modèle de définir une probabilité de correspondance des critères d'identification de surface brûlées sur l'ensemble des pixels composant l'image. Ainsi, deux classifieurs ont été construits :

- Classification supervisée 1 : SVM à 2 classes (Feu/non Feu)
- Classification supervisée 2 : SVM à 4 classes (Feu/ non feu/ nuages / ombres)

Le fonctionnement à deux classifieurs permet, en ajoutant au deuxième classifieur des classes relatives à l'identification des nuages et des ombres, d'éliminer les fausses détections présentes dans le premier classifieur. Une fusion des deux classifieurs est alors réalisée pour ne conserver que les surfaces brûlées identifiées par les deux modèles SVM. Ainsi, la part de certitude associée aux détections est améliorée par rapport à un modèle ne fonctionnant qu'avec une seule classification supervisée. Les critères de fusion sont présentés dans le tableau ci-dessous :

SVM Classification 1	SVM Classification 2	Résultat
Surface brûlée	Surface brûlée	Surface brûlée
Non feu	Surface brûlée	Non feu
Surface brûlée	Non feu / ombre ou nuage	Non feu
Non feu	Non feu / ombre ou nuage	Non feu

Tableau 3 : Logique de fusion des classifieurs

Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées

Différents indices sont calculés à l'aide des bandes spectrales pour chaque classifieur. La distinction entre les deux chaînes de traitement des images réside dans le choix des bandes spectrales disponibles pour les calculs d'indices. Par exemple pour Landsat, le processus va utiliser les bandes situées dans l'infra-rouge thermique alors qu'elles ne sont pas disponibles sur Sentinel.

À noter que la taille minimale de détection a été fixée à 1,5 hectare afin notamment d'éliminer une partie du bruit des détections pour des pixels isolés et pour répondre à la volonté de l'ŒIL de disposer des incendies possédant une surface supérieure à un 1,5 hectare afin de limiter le bruit de détections minimales. Après avoir filtré les détections selon la taille minimale requise, une étape de vectorisation est incluse dans la chaîne de traitement afin de fournir des polygones au format Shape correspondant aux surfaces brûlées potentielles. Une fois les pixels vectorisés, ils subissent une dernière étape de croisement avec des masques concernant les informations de :

- Cuirasses : données Géologie au 1/50000 du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie
- Certaines couches de la BDTopo de la Nouvelle-Calédonie¹
- Occupation du Sol : Couche des Modes d'Occupation du Sol composé des données de 2008 pour la Province Nord et de 2014 pour la Province Sud et la Province des Îles

À noter que les champs comportant ces informations ne seront pas utilisés, dans la mesure où nous avons préféré réaliser nous-mêmes les traitements.

2.2.2. Les données utilisées

2.2.2.1. Les données vectorielles en sortie de chaîne

Les données sont fournies au format Shape par le bureau d'études Insight. Lors de leur réception, les surfaces brûlées potentielles sont agrégées mensuellement. Voici leur emprise spatiale ainsi que la répartition par année du nombre de dalles traitées et de surfaces brûlées détectées pour chaque satellite :

- **Sentinel :**



Figure 5 : Emprise spatiale des surfaces brûlées issues des satellites Sentinel 2 pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018. *[Un contour d'une épaisseur 1 a été appliqué afin que la visibilité des polygones soit optimisée].* Source de données : ŒIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

¹ Cf. Annexe 2 : Description des couches de la BDTopo de la Nouvelle-Calédonie croisées par le bureau d'études

	2015	2016	2017	1 semestre 2018
Nombre de dalles traitées	48	499	1391	420
Nombre de polygones	1124	4193	20425	1287

Tableau 4 : Répartition des données par année pour Sentinel 2. Source d'information : OEIL

◦ **Landsat :**



Figure 6 : Emprise spatiale des surfaces brûlées issues du satellite Landsat 8 pour la période allant du 13 mai 2013 au 31 mars 2018. [Un contour d'une épaisseur 1 a été appliqué afin que la visibilité des polygones soit optimisée]. Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nombre de dalles traitées	65	215	180	228	227	38
Nombre de polygones	774	2434	1723	2549	5945	224

Tableau 5 : Répartition des données par année pour Landsat 8. Source d'information : OEIL

Au total on dénombre 27 029 polygones de surfaces brûlées potentielles pour Sentinel, contre 13 649 pour Landsat.

2.2.2.2. Les données exogènes sur les incendies

Cette étude s'est appuyée sur deux types de données afin de contrôler la validité des surfaces brûlées émises par la chaîne de traitement. D'une part des surfaces incendiées issues d'un mode de traitement d'images satellitaires différent, reposant sur l'agrégation spatio-temporelle de points d'anomalies thermiques ; d'autre part, sur des sources de données fournies par des acteurs agissant sur le territoire pour répertorier des incendies sur le terrain.

Le temps relatif au contrôle des surfaces brûlées étant limité, nous avons préconisé l'utilisation de données dont la certitude est importante. De fait, des produits de l'OEIL seront utilisés, ou des données de vérités terrain.

2.2.2.2.1. Les données satellites

Les produits de l'OEIL s'appuient sur un service existant. Ce dernier a été mis en place dans le cadre du programme Fire Information for Resource Management System (FIRMS) dans le but de

fournir l'emplacement des feux actifs en temps quasi-réel aux gestionnaires des milieux. Il a été créé par l'Université du Maryland grâce à des fonds de la NASA et de la Food and Agriculture Organization of the United States. Les informations des capteurs de trois satellites sont intégrées, à savoir Aqua MODIS, Terra MODIS et Suomi NPP.

Ces produits servent à alimenter le portail d'alerte incendie Vulcain. La rapidité de transmission de données permet de communiquer la localisation du feu en quasi temps réel. Un traitement d'agrégation spatio-temporelle des anomalies thermiques, fournies sous la forme d'entités de type ponctuel par le FIRMS, a été réalisé afin de disposer des contours des incendies.

L'utilisation de ces données permettra de contrôler les données issues de la chaîne de traitement des surfaces brûlées dans la mesure où ses productions ont été éprouvées et ont montré leur pertinence pour la transmission des alertes incendies. De plus, ce croisement aura également pour vocation d'introduire une démarche comparative entre les détections de surfaces brûlées par classification SVM et les détections par agrégation de points d'anomalie thermique. En effet, la constitution des surfaces brûlées ne repose pas sur les mêmes traitements et les résolutions spatiales des données ne possèdent pas la même précision. A titre indicatif pour la structure, il paraîtrait intéressant de quantifier les différences de détections des deux méthodes.

2.2.2.2.1.1. Les surfaces incendiées issues de MODIS

Elles sont constituées à partir du centroïdes des pixels représentant des points d'anomalie thermique MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) MCD14DL en quasi-temps réel, et possédant une résolution spatiale d'un kilomètre. L'association entre chaque point d'anomalie thermique pour former une même surface brûlée se base sur des critères spatio-temporels. Chaque point doit être à moins de deux kilomètres et la durée les séparant ne doit pas dépasser trois jours. Si des points respectent ces conditions, les surfaces incendiées sont agrégées à l'aide d'un algorithme d'enveloppe concave basé sur le modèle des formes alpha (module alphahull sous R). À noter que la fréquence de mise à jour de ces données est quotidienne, elle se base sur la revisite du satellite. Les données débutent le 2 novembre 2000 et s'achève le 30 mars 2018 pour notre étude, soit 1 698 polygones.

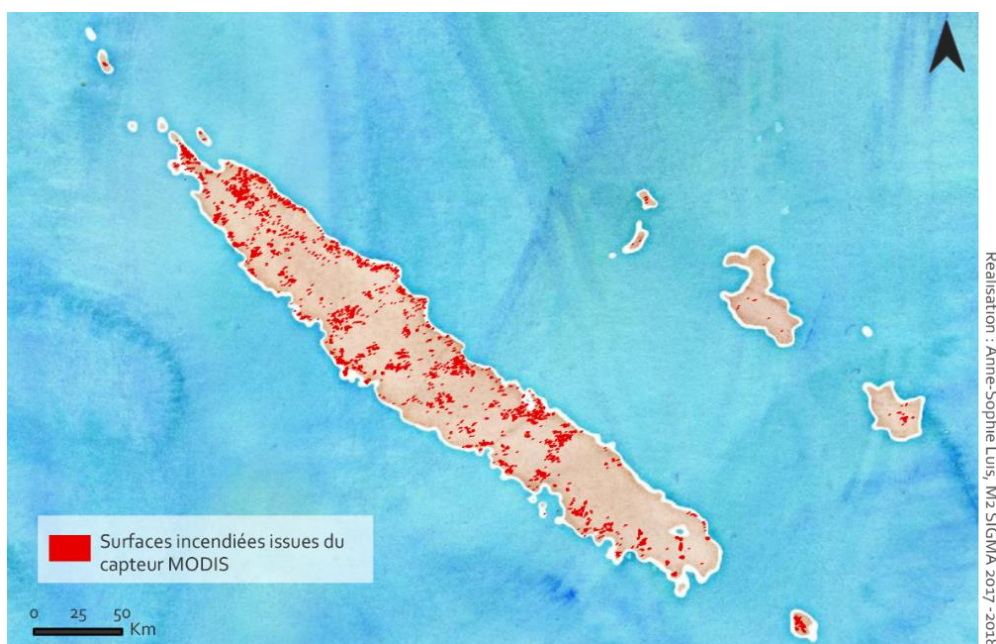


Figure 7 : Cartographie des surfaces incendiées détectées par le capteur MODIS
Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

Cependant, la résolution spatiale d'un kilomètre des capteurs MODIS a conduit à la décision de ne pas prendre en compte ces données pour le contrôle des surfaces brûlées. Les surfaces incendiées du capteur VIIRS ont été préférées dans la mesure où une résolution spatiale de 375 mètres paraît plus pertinente pour le contrôle des détections de la chaîne de traitement.

2.2.2.2.1.2. Les surfaces incendiées issues du VIIRS

Elles sont constituées à partir des données d'anomalies thermiques VNP14IMGTDL_NRT et dérivés, construites avec l'imagerie Infrarouge (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite - VIIRS) du satellite Suomi NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) avec une résolution spatiale de 375 mètres. Chaque point doit être à moins de 750 mètres et la durée les séparant ne doit pas dépasser trois jours. Si des points respectent ces conditions, les surfaces incendiées sont agrégées à l'aide d'un algorithme d'enveloppe concave basé sur le modèle des formes alpha (module alphahull sous R). À noter que la fréquence de mise à jour de ces données est quotidienne, elle se base sur la revisite du satellite. Pour cette étude, nous possédons l'ensemble de la chronique de données s'étendant du 21 janvier 2012 au 23 mars 2018, soit 2 546 polygones.



Figure 8 : Cartographie des surfaces incendiées détectées par le capteur VIIRS

Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

Cette couche possède une table attributaire contenant une date de début et une date de fin sur chaque surface incendiée.

2.2.2.2.2. Données acteurs

2.2.2.2.2.1. Les levés aéroportés de la Direction de la Sécurité Civile et de la gestion des Risques

En accord avec la Direction de la Sécurité Civile et de la Gestion des Risques du Gouvernement (DSCGR) de la Nouvelle-Calédonie, des données concernant les incendies ont été utilisées. Elles représentent les levés aéroportés effectués par les cadres de la DSCGR lors de la reconnaissance en hélicoptère des incendies, généralement pendant leur déroulement, mais la reconnaissance peut également être effectuée après l'incendie. Il est tenu de noter que cette démarche s'applique uniquement à un nombre d'incendies très réduit, à savoir lorsque la DSCGR envoie des moyens de lutte aérien quand une demande de renfort est faite. Il s'agit donc généralement des incendies les plus importants ; la base de données en dénombre 149 entre novembre 2014 et janvier 2018.



Figure 9 : Cartographie des levés aéroportés de la DSCGR entre novembre 2014 et mars 2018
 Source de données : DSCGR. Fond : Stamen's Watercolor tileset

2.2.2.2.2. Les incendies répertoriés par le World Wildlife Fund

Le World Wildlife Fund (WWF) a également donné accès aux incendies répertoriés dans le cadre d'une étude relative aux feux s'étendant de 2015 à 2017 dans la région de Poya, soit 269 feux identifiés. À noter qu'afin de respecter la logique du contrôle des données détectées par le processus d'analyse des images, les surfaces minimales considérées pour ce croisement seront ajustées sur les caractéristiques des données produites par l'CEIL, à savoir une taille minimale de surface brûlée d'1,5 hectare. Cet ajustement induit une perte d'information dans la mesure où les données du WWF peuvent concerner des surfaces brûlées de taille inférieure. S'agissant de levés directement effectués sur le terrain, ces informations constituent donc une source de validation de qualité.

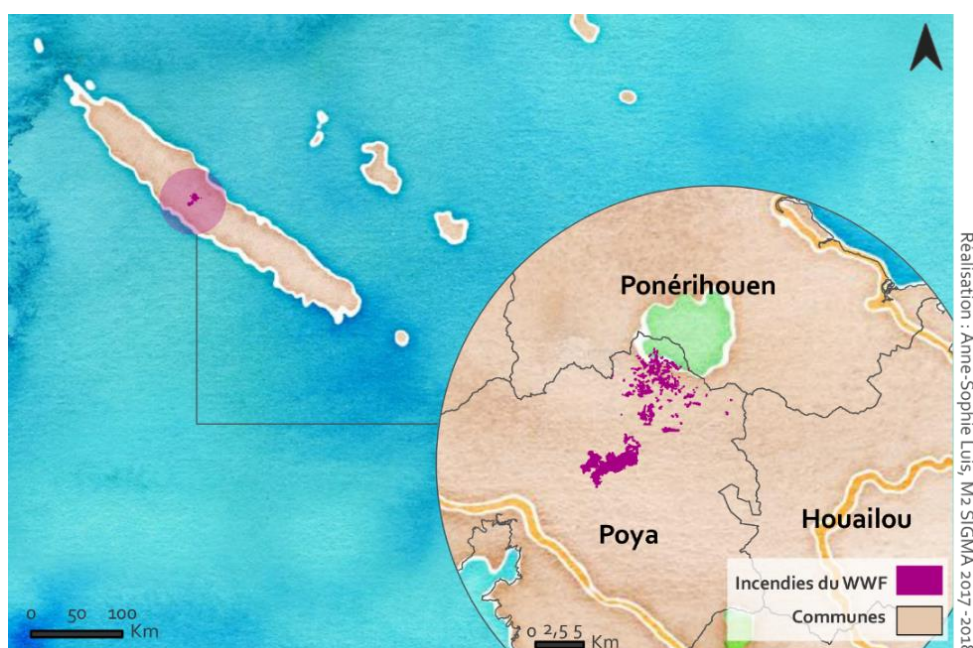


Figure 10 : Cartographie des incendies relevés par le WWF entre 2015 et 2017 sur le secteur de Poya
 Sources de données : WWF, Gouvernement NC. Fond : Stamen's Watercolor tileset

2.3. Le contrôle des surfaces brûlées potentielles

Afin de vérifier les surfaces brûlées détectées par le processus d'analyse des images, plusieurs étapes de contrôle ont été réalisées, chacune ayant un but de validation différent. Que ce soit pour détecter des éventuelles aberrations ou encore vérifier des surfaces brûlées, des données extérieures ont été utilisées, afin d'obtenir une validation par le biais d'au moins une autre source de données.

Les différentes phases de contrôles des données sont les suivantes :

- Contrôle de l'aspect sémantique
- Identification des aberrations
- Validation par le biais de données complémentaires sur les incendies
- Vérification des surfaces brûlées par photo interprétation

À noter que les termes de « surfaces brûlées », « surfaces détectées » et « détections » seront employées pour désigner les données en sortie de la chaîne de traitement. Plusieurs surfaces brûlées peuvent constituer un même « incendie », que nous appellerons également « événement ».

De plus, la grande majorité des traitements a été effectuée sous ArcGIS, outil de référence de l'observatoire en matière de logiciel de Systèmes d'Informations Géographiques. La structure d'accueil voulait que les traitements soient réalisables à nouveau sans avoir à trouver des équivalences entre les logiciels. De même, les données doivent être stockées en bases de données dans le format propriétaire d'ESRI, à savoir les Géodatabases fichiers. Ainsi, QGIS a été utilisé seulement quand une fonctionnalité n'était pas disponible sur ArcGIS. À noter que les noms des outils de traitements d'ArcGIS ont été indiqués en italique et soulignés.

2.3.1. La succession préférentielle des étapes de contrôle

La *Figure 11* revient sur les différentes phases du contrôle des surfaces brûlées en présentant l'enchaînement préconisé pour l'OEIL. Cette succession d'étapes n'est pas celle qui a réellement été suivie dans la mesure où ce stage représentant le premier travail effectué sur les données des satellites Sentinel 2, un caractère alambiqué était inévitable. De manière générale, une intellectualisation des étapes de contrôle a été opérée afin de les regrouper par vocation. Par exemple, le contrôle visuel a été réalisé à plusieurs reprises au cours du stage ; cependant on voit ici qu'il est conseillé de le mener seulement après avoir réalisé tous les traitements. En effet, il aurait été plus pertinent de le mener après avoir réalisé les croisements avec les bases de données sur les incendies, afin de ne contrôler réellement que les polygones n'étant pour l'heure pas validés. Ce facteur explique que l'enchaînement préconisé pour la structure s'appuie sur une succession d'étapes de contrôle visant à être la plus efficace possible en termes de temps.

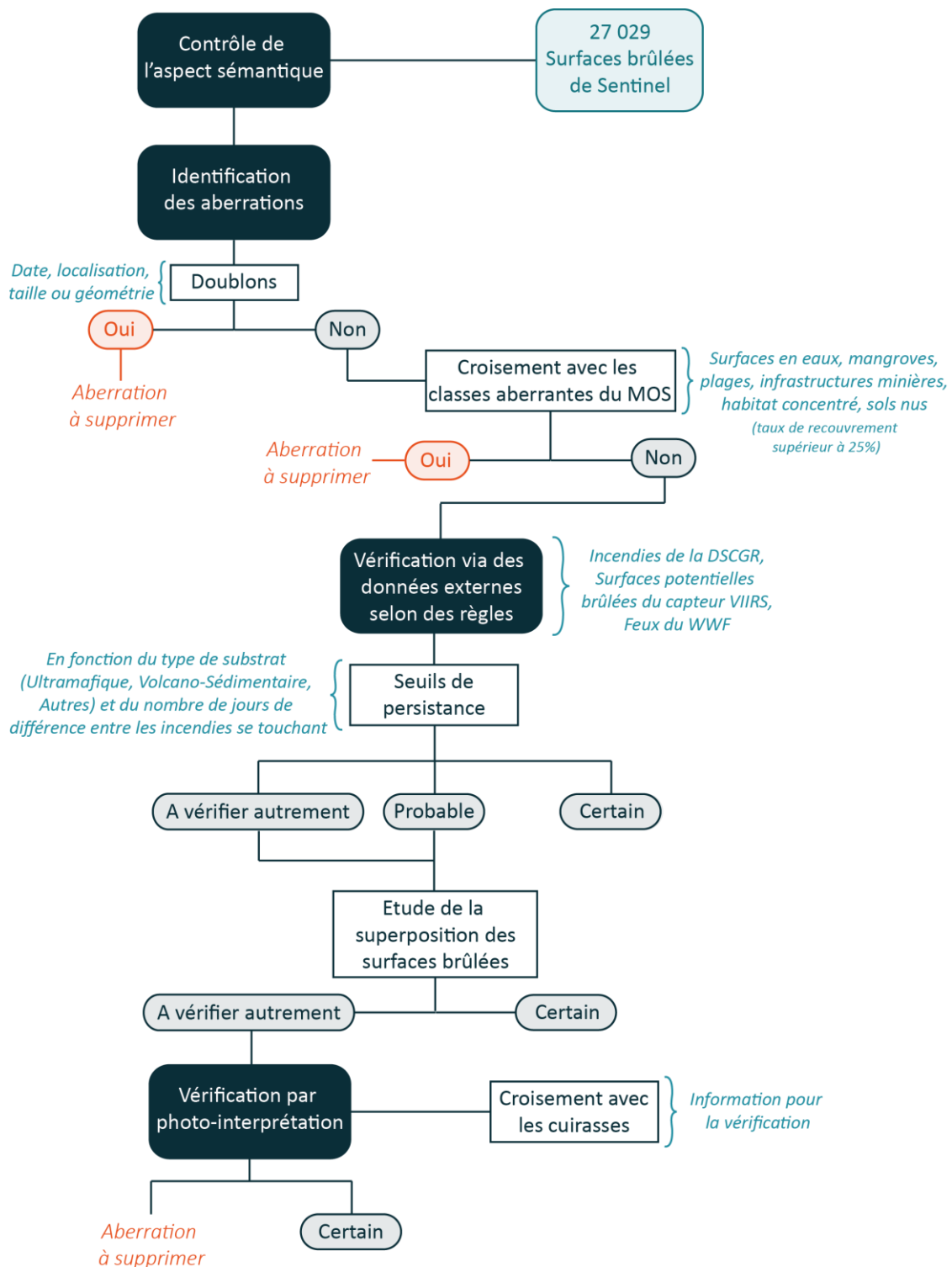


Figure 11 : Schéma d'intention des étapes réalisées pour le contrôle des données des satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie [L'ordre présenté n'est pas obligatoirement celui qui a été suivi de manière chronologique]

Cet enchaînement des étapes est celui qui sera présenté dans la suite du rapport.

2.3.2. Contrôle de l'aspect sémantique

Cette étape du contrôle vise à étudier le taux de remplissage des champs afin de vérifier si la chaîne de traitement a retransmis les informations des croisements effectués avec les couches incluses par le bureau d'études. Pour ce faire, l'outil *Statistiques basiques pour les champs de texte*, et

Statistiques basiques pour les champs numériques du logiciel Qgis a été utilisé. Ne connaissant pas les équivalents sur le logiciel ArcGIS et mes recherches étant infructueuses, j'ai décidé d'utiliser le logiciel Qgis qui permettait de réaliser le traitement en lot et ainsi de réduire le temps de réalisation. Le tableau constable en annexe 3 présente la description des champs faite par le bureau d'études et les résultats obtenus pour le contrôle sémantique.

Les champs où des données sont manquantes concernent majoritairement les intersections avec les couches relatives à l'emprise des cuirasses, de la BDtopo et de l'occupation du sol. Le fait que le remplissage ne soit pas complet pour les croisements relatifs aux cuirasses est normal car ces couches sont représentées par des polygones épars. Concernant la BDTopo, des données sont manquantes car les croisements n'ont concerné qu'une part des objets de cette dernière². Cependant, la couche d'occupation du sol recouvre l'ensemble du territoire, il est donc anormal que certains croisements ne donnent pas de résultats. En effet, pour l'année 2017 de Sentinel 2, 9 953 enregistrements sont manquants, tous compris entre octobre et décembre. Cette information a été communiquée au bureau d'études qui a confirmé que ce résultat était anormal. Après étude du problème, il nous a indiqué que ces erreurs étaient liées au croisement avec la couche du MOS qui provoquait des dysfonctionnements fin 2017. L'OEIL a décidé que les traitements pour compléter ces informations seraient réalisés durant le stage. Le bureau d'études a tout de même réussi à résoudre le problème de script pour la transmission des prochains produits.

De même, quand le champ textuel concernant l'appartenance aux provinces n'était pas rempli, l'erreur a été indiquée. La justification partait du principe que les polygones concernés étaient situés sur des îlots. Après vérification, il s'est avéré que toutes les surfaces brûlées étaient localisées dans la baie de Saint-Vincent qui est rattachée à la province Sud. De plus, sur un des îlots en question, d'autres polygones sont bien indiqués comme appartenant à la Province Sud. La correction a également été faite réaliser pendant les phases de traitements.

2.3.3. L'identification des aberrations

Le premier axe de contrôle des surfaces brûlées a été orienté vers la recherche d'aberrations. Ces dernières pouvant émaner de différentes sources, plusieurs traitements ont été effectués. La détection étant basée sur un processus automatisé de télédétection des surfaces brûlées, des facteurs comme l'enneigement, ou la similarité des réponses spectrales d'objets de la surface terrestre à celle des incendies, pourraient correspondre à des sources de sur-détections. L'identification de ce type d'aberrations est essentielle, car elle pourra servir à terme à rectifier les paramètres de l'algorithme de détection des surfaces brûlées.

2.3.3.1. Le contrôle visuel de la cohérence des surfaces brûlées

Avant de passer à des étapes de traitements SIG, une phase de visualisation rapide des données a été réalisée. En observant de plus près la [Figure 6](#), on remarque que des polygones sont présents dans l'océan à proximité d'Ouvéa. Un tour de la Nouvelle-Calédonie au 1 : 500 000ème suffit pour se rendre compte de la présence d'énormes détections dont la superficie remet en question leur pertinence. Une vérification de ces dernières a abouti à une invalidation de polygones pour Landsat 8. Cette visualisation n'a pas mis en avant d'aberration d'une telle ampleur pour Sentinel 2. Voici deux exemples d'aberrations relevées pour Landsat 8, présentés par la [Figure 12](#).

² Cf. Annexe 2 : Description des couches de la BDTopo de la Nouvelle-Calédonie croisées par le bureau d'études

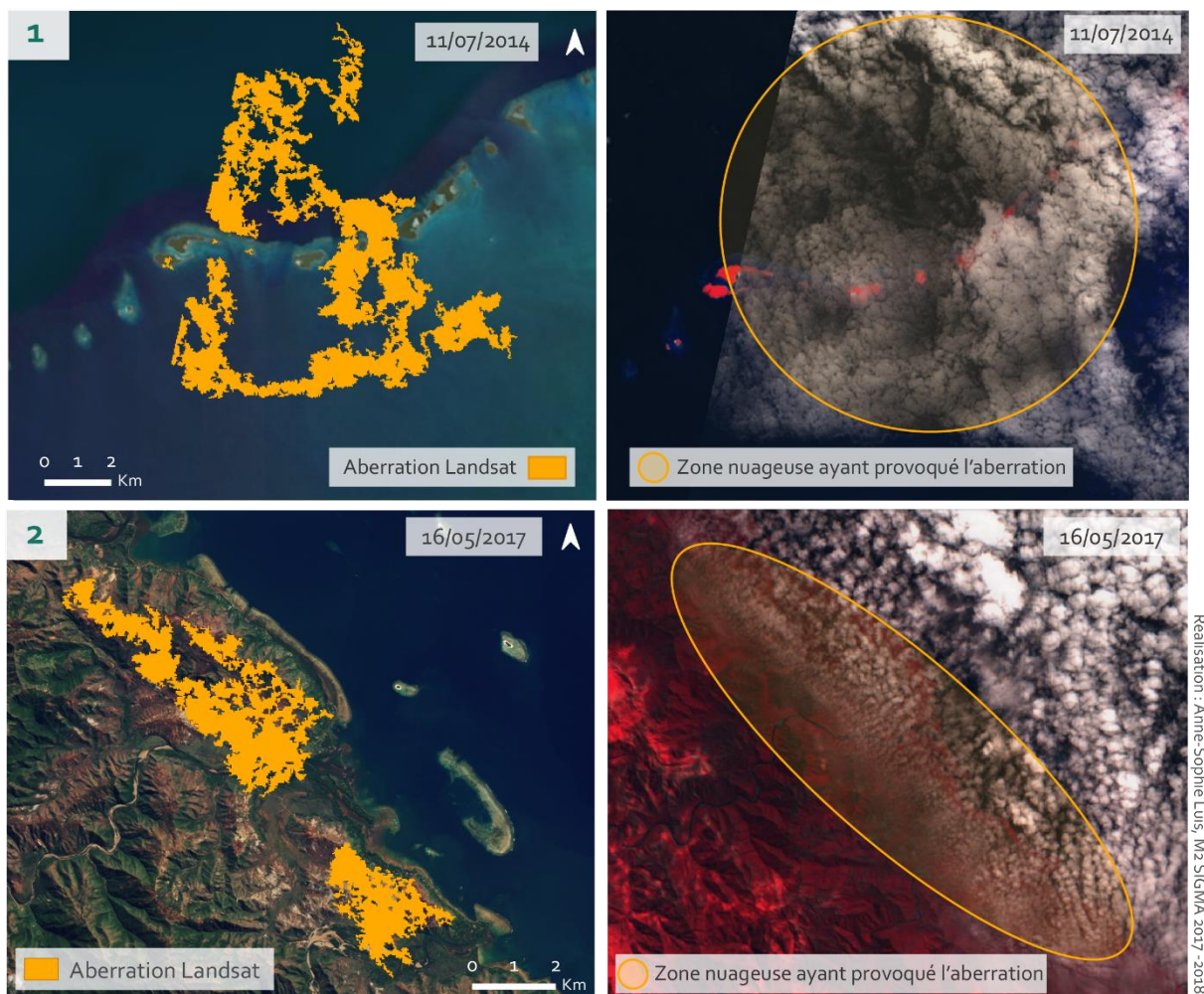


Figure 12 : Aberrations de Landsat 8 liées à la présence de nuage à proximité des zones marines [1 : Ouvéa, 2 : Thio]. Source de données : OEIL. Fond : images de gauche : imagerie annuelle du Géorep, images de droite : Sentinel Hub Playground (Color Infrared)

Il a été constaté que les erreurs liées à la présence de nuages denses et volumineux sur les images génératrices d'aberrations, se trouvaient à proximité de la mer de Corail ou de l'océan Pacifique Sud. Un contrôle visuel des polygones situés à proximité du trait de côte a alors été entrepris, sans préalable de croisement SIG. Cette vérification visuelle a permis de déceler 206 aberrations liées aux nuages. Pour chaque image ennuagée porteuse d'aberration, une sélection attributaire a été effectuée afin de définir comme aberration probable les polygones qui avaient été détectés par le biais de l'image satellite. Ainsi, 819 détections ont été classées comme aberrations probables. Faute de temps à consacrer à une vérification de chacune de ces surfaces par photo-interprétation, nous avons décidé d'arrêter les traitements sur les surfaces brûlées détectées par Landsat en attendant de déterminer la cause des aberrations et de trouver une solution non chronophage.

En effet, la localisation dans le Pacifique ainsi que les reliefs présents sur le territoire calédonien participent au développement d'une couverture nuageuse qui s'installe fréquemment au-dessus du pays. Cette particularité induit des difficultés supplémentaires lors de l'analyse des images satellitaires par la chaîne de traitement, la réalisation d'un masque de nuage étant difficile dans la mesure où la variabilité associée à leur densité et leur ombre portée est très importante.

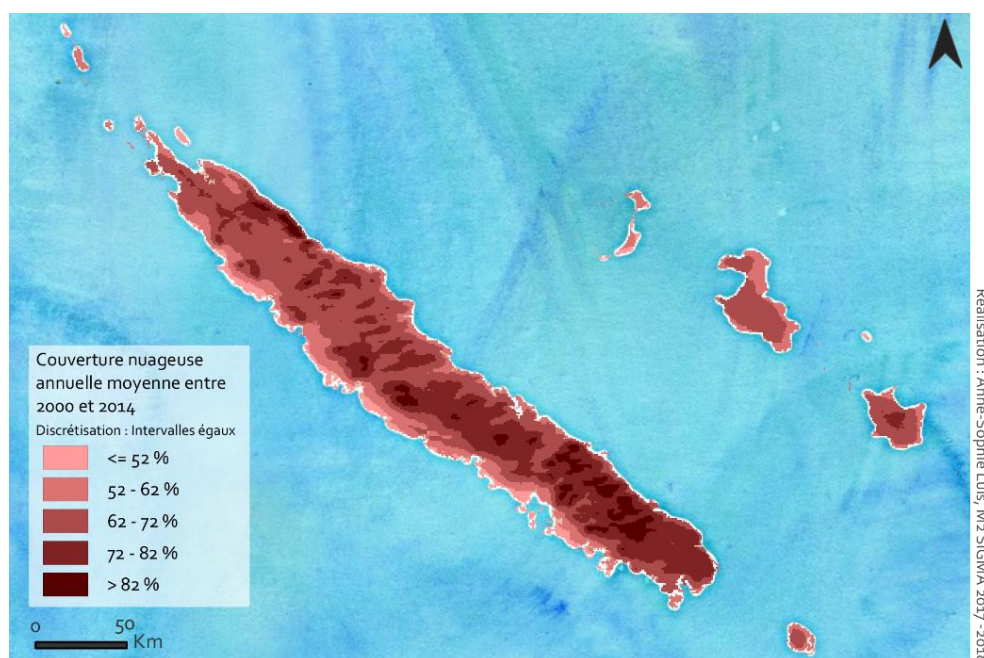


Figure 13 : Taux de couverture nuageuse annuelle moyenne entre 2000 et 2014 en Nouvelle-Calédonie
Source des données : earthenv. Fond : Stamen's Watercolor tileset

Les aberrations ont ainsi été remontées au bureau d'études en charge du déploiement de la chaîne de traitement sur le territoire. Il nous a précisé qu'outre le filtrage du taux de couverture nuageuse de 60% sur la terre, aucune autre sélection sur les dalles n'était réalisée. Cependant, d'après leurs observations, la qualité de la bande utilisée pour calculer le taux de recouvrement nuageux ne permettait pas de pouvoir se baser avec sûreté sur ce pourcentage. Ainsi, ils ont décidé qu'à partir de mai 2018, ils réaliseront une sélection manuelle des dalles à injecter dans la chaîne de traitement.

Prenant en considération le fait qu'aucune solution automatisée ne pourrait permettre de déceler toutes les détections erronées liées à la couverture nuageuse, il a été choisi de ne pas poursuivre le contrôle pour les détections de Landsat 8.

Afin de vérifier que ce choix n'allait pas impacter de manière considérable la quantité de données dont nous disposons pour réaliser le bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie, un croisement avec les surfaces brûlées potentielles de Sentinel 2 a été réalisé. Cette intersection a permis de mettre en avant que l'apport des données issues du satellite Landsat serait limité ; il représenterait l'ajout de seulement 2,2% de surfaces brûlées supplémentaires, comparativement à la base de données de Sentinel 2. À noter que le calcul a été réalisé en ne prenant pas en compte les aberrations détectées pour l'heure, qu'elles soient probables ou avérées.

En revanche, la complémentarité temporelle entre les satellites est intéressante dans la mesure où nous disposons de presque deux années de données supplémentaires grâce à Landsat, ce qui représenterait un apport de 1797 polygones, soit 6,7 % en comparaison avec la base de données de Sentinel 2. Le calcul a été à nouveau effectué en retranchant les erreurs vérifiées ou probables pour le moment. À noter que parmi les aberrations mises de côté pour ce calcul, 498 concernaient des détections antérieures au 13 novembre 2015. Ce constat implique qu'une précaution supplémentaire doit être mise en œuvre si ces données doivent être utilisées pour quantifier le bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie. Compte tenu du temps disponible pour le contrôle des données, il a été décidé de ne pas fournir un effort de vérification par photo-interprétation des polygones de Landsat 8 antérieurs à ceux de Sentinel. En effet, dans la mesure où

le bilan des impacts environnementaux portera uniquement sur les données de 2017, l'OEIL a jugé qu'il serait chronophage de contrôler toutes ces détections, la vérification pouvant être effectuée par un tiers en dehors de la période de stage.

Ainsi, les prochaines étapes de contrôle des surfaces brûlées ont été réalisées uniquement pour les détections des satellites Sentinel, et le bilan de l'impact environnemental des incendies qui en découlera ne sera réalisé qu'à partir des détections de ces derniers.

2.3.3.2. La détection des doublons

Les traitements de tests effectués sur la première version de la chaîne de détection des surfaces brûlées avaient détecté des erreurs liées à la présence de doublons. Partant de l'hypothèse que des mêmes erreurs puissent être produites par la deuxième version de la chaîne de traitement, une première opération a consisté à rechercher des éventuels doublons parmi les données. En effet, la probabilité pour que des surfaces brûlées soient strictement positionnées au même endroit et que leur emprise soit strictement la même, semble particulièrement faible. Pour mettre en avant d'éventuels doublons sur les images, un traitement a été appliqué au jeu de données. Trois phases de détection des doublons ont été effectuées, reposant sur des critères différents. La phase 1 visait à vérifier si des doublons liés à la superposition des dalles étaient présents dans les données. La phase 2 cherchait à déceler les polygones strictement identiques dans la mesure où ils auraient été détectés à la même date sur la même image satellite. Enfin, la phase 3 s'attachait à identifier les surfaces brûlées qui revenaient de manière récurrente sur le jeu de données sans limite temporelle. La figure ci-dessous permet de résumer les étapes de détection des doublons.

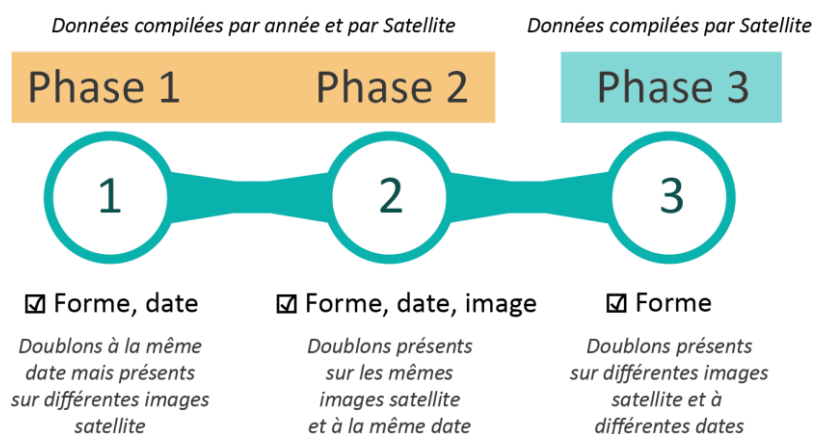


Figure 14 : Phases de détection des doublons

Afin de permettre l'accélération des traitements nécessaires à la réalisation des trois phases de détection des doublons, un Model Builder a été réalisé. Quelques prérequis au lancement du Model Builder sont nécessaires ; le travail doit être effectué en Géodatabase fichier et les données doivent premièrement être compilées par année et par satellite. À noter que le Model Builder a été conçu également pour intégrer des traitements pour Landsat afin que, lors des futurs contrôles, l'OEIL puisse utiliser cet outil sans apporter de modifications majeures. Un premier Builder comprend la détection des doublons de la première phase, ainsi que la seconde phase. Puis un deuxième Builder permet de détecter le troisième type de doublons, et de lier les deux modèles afin que la détection des doublons puisse être effectuée dans un seul processus. L'annexe 4 présente l'architecture du Model Builder.

La troisième phase de détection des doublons reposant sur une identification des polygones qui ressortaient de manière répétitive sur la base de données de chaque satellite, il a fallu introduire un script dans le model Builder. En effet, à la suite des premiers croisements, les données étaient encore compilées par année et par satellite. Un script écrit en python, utilisant le module d'arcpy et

permettant la compilation, a donc été réalisé afin de regrouper toutes les années dans une classe d'entités par satellite. L'annexe 5 présente le code rédigé pour répondre au besoin énoncé ainsi que l'interface de saisie. Le script implémente des paramètres afin que l'outil puisse disposer d'une interface accessible via la boîte à outil d'ArcGis, *ArcToolBox*.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en avant la présence de 899 doublons pour les phases 1 et 2 ; ces derniers ont été supprimés de la base de données. Puis la phase 3 de détection des doublons pour Sentinel a révélé 18 doublons, dont deux aberrations qui ont été supprimées après vérification par photo-interprétation. Ces erreurs de détections ne concernent que 2,7% de la base de données des surfaces brûlées de Sentinel. Le tableau ci-dessous présente la répartition des doublons identifiés :

Etape	Nombre de polygones contrôlés	Nombre de doublons détectés	Nombre de doublons supprimés
Phase 1	27 029	890	899
Phase 2	27 029	9	
Phase 3	26 130	18	2

Tableau 6 : Résultats chiffrés des étapes de détections des doublons. *Source d'information : OEIL*

À noter qu'à partir de la phase 3 de détection des doublons, les classes d'entités de chaque année de données de Sentinel 2 ont été regroupées dans une classe d'entité avec l'outil *combiner*.

2.3.3.3. Le croisement avec les classes considérées comme aberrantes du Mode d'Occupation du sol

Ensuite, nous avons cherché à écarter les surfaces brûlées détectées sur des zones dont le type d'occupation du sol ne pourraient correspondre à des incendies. Les couches concernant le mode d'occupation du sol de la Nouvelle-Calédonie ont été utilisées. Ces données n'étant pas homogènes à l'échelle du territoire, une agrégation des différentes sources de données a été réalisée. Il est tenu de préciser que faute de disposer de données similaires pour l'ensemble du territoire, l'agrégation entre les MOS des trois provinces a dû être effectuée avec des données ne datant pas de la même année. En effet, le MOS de la province Nord étant actuellement en cours de réalisation, le choix a dû se porter sur celui de 2008, contre 2014 pour les autres Provinces.

Le MOS de 2008 a été réalisé par le gouvernement à l'échelle du territoire complet. Il possède une résolution spatiale de 10 mètres environ et son utilisation est conseillée à 1/25 000ème. Il a été construit grâce à une classification semi-automatique, cette dernière ayant été validée avec une précision de 75,5 % (coefficient Kappa). Les images sources sont issues de 23 produits de 2003 à 2008 du satellite SPOT5. La matrice de confusion indique que ce sont les classes liées à la végétation qui possèdent le plus de mauvaises classifications³.

Concernant les MOS de 2014, ils ont été réalisés respectivement par l'OEIL pour la Province Sud et par le gouvernement pour la Province des Îles. Ces derniers sont construits à partir du même cahier des charges et de sources de données identiques. La taille minimale de collecte est de 1 hectare. L'échelle de travail des producteurs de la donnée était de 1/12 000ème, ils préconisent par ailleurs une utilisation à 15 000ème. Les images utilisées sont issues du satellite SPOT6, les acquisitions s'étalent entre 2013 et 2014. La méthodologie de construction des données repose sur une classification SVM ainsi que par photo-interprétation assistée par ordinateur. La matrice de confusion du MOS de la province Sud met en avant une précision globale de la donnée de plus de 85%⁴.

³ Classification de l'occupation du sol de la Nouvelle-Calédonie par approche objet V1.0 – DTISI, 2008, 8p.

⁴ K. Rolland, A. Crépin, C. Kenner, P. Afro. Production de données d'occupation du sol de 2010 à 2014 en Province Sud – Rapport de production. SIRS. Nouméa : OEIL, 2016. 93p.

La ci-dessous illustre un exemple de surfaces brûlées détectées par le processus alors même que l'usage au sol indique qu'aucun feu ne peut se déclarer sur ce type de surface. Ici le secteur concerné est la piste d'atterrissage de l'aéroport de Nouméa La Tontouta.

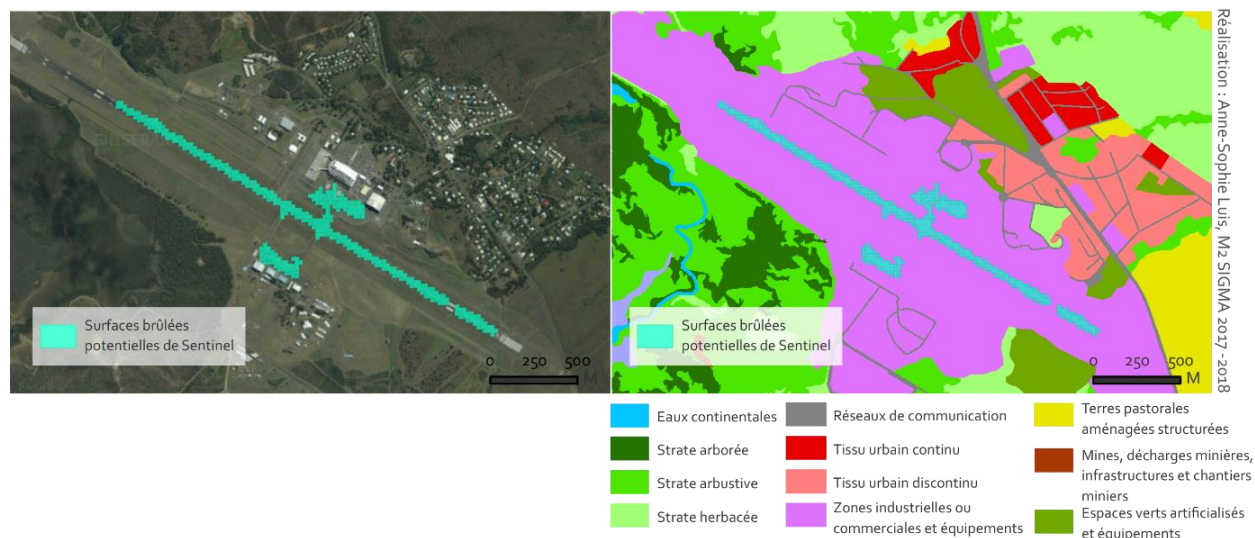


Figure 15 : Représentation d'aberrations liées à l'occupation du sol sur la piste d'atterrissage de l'aéroport de Nouméa La Tontouta pour les satellites Sentinel. *Sources des données : CÉIL, Gouvernement de NC.*
Fond : Gauche : imagerie annuelle du Géorep, Droite : MOS composite OEIL

Pour réaliser le MOS composite, l'outil effacer a été utilisé puis l'outil combiner a servi à réunir les trois morceaux de MOS. Un travail de reclassification n'a pas été réalisé dans la mesure où les correspondances entre les classes des MOS respectifs font débat sur le territoire ; trouver une concordance qui puisse satisfaire tous les partis aurait pu représenter un sujet de stage en lui-même.

Une fois que les MOS ont été combinés, les classes considérées comme aberrantes pour correspondre à des surfaces brûlées ont été choisies. Les types considérés comme potentiellement porteurs d'aberrations sont les suivants : les surfaces en eaux de toutes natures confondues, les secteurs en marge de ces zones comme les mangroves ou encore les plages, les infrastructures minières, les zones d'habitat concentré, mais aussi les sols nus. Pour ce faire, une sélection attributaire a été appliquée, puis un export de la sélection a permis de constituer la couche des classes aberrantes du MOS. L'annexe 6 énumère les différentes classes d'occupation du sol qui ont été sélectionnées.

À présent, le but était de parvenir à retracer les différentes classes du MOS qui recoupent chaque polygone de surface brûlée potentielle afin de déterminer si des classes aberrantes les intersectaient. Pour ce faire, il faut passer au-delà de la limite des logiciels de SIG ne pouvant traiter la relation « 1-n ». Ayant perdu un temps important à la recherche d'alternatives pour contrer cette limite, le gestionnaire du système d'information de l'OEIL a été mobilisé pour réaliser un script permettant de réunir les n valeurs croisées dans un champ. La demande transmise reposait sur la réalisation d'un outil permettant de :

- Concaténer l'information des croisements dans un nouveau champ
- Calculer les taux de recouvrement de chaque croisement et les concaténer dans un champ
- Sélectionner automatiquement le taux de recouvrement le plus important et créer deux champs pour stocker l'information : un contenant la classe correspondante et l'autre le pourcentage associé
- Pouvoir définir un taux de recouvrement minimum pour que l'information du croisement soit renseignée dans la table (afin de ne pas disposer de résultat inférieur au seuil fixé)

Afin de pouvoir lancer l'outil, il faut en premier lieu réaliser une intersection et une récapitulation entre les deux classes d'entités afin de disposer d'une table contenant les informations d'intersections. Ensuite, il s'agit de remplir les informations demandées par l'outil de CroisementMulitValeurs, à savoir :

- La classe d'entité en entrée
- La table d'intersection des valeurs
- Le champ d'identifiant de la couche d'origine présent dans la table de croisement
- Le champ de classification correspondant ici aux classes jugées aberrantes du MOS
- Le champ de pourcentage associé au croisement
- Le taux de recouvrement minimum à prendre en compte pour le croisement

Il faut également indiquer le nom de 4 champs qui seront créés :

- Un champ qui contiendra la concaténation du nom des classes croisées
- Un champ qui représentera la concaténation des pourcentages associés aux croisements
- Un champ correspondant à la classe associée au plus grand taux de recouvrement qui était présent dans la concaténation
- Un champ contenant le pourcentage maximum de la concaténation des taux de recouvrement

Pour cette étape de croisement avec les classes jugées aberrantes du MOS, les détections seront considérées comme aberrantes si leur surface recoupe plus de 25% d'au moins un type d'usage du sol ne pouvant concorder avec une surface brûlée.

Cette phase de contrôle a ainsi permis de détecter 404 aberrations sur la classe d'entités de Sentinel, soit 892 hectares. À noter que ces aberrations ont été sélectionnées puis supprimées pour la suite du traitement à l'aide de l'outil de suppression des entités.

L'intégration d'un taux de recouvrement minimum a été choisie dans la mesure où une certaine précaution était nécessaire. Ainsi, afin d'appliquer une réserve supplémentaire avant de supprimer de manière définitive les surfaces concernées, un seuil de recouvrement d'au moins 25% a été appliqué. Cela permettait de ne pas supprimer de manière abusive des détections dont la surface ne recouvrait qu'une part minime de la donnée croisée. Par exemple, si une surface brûlée recouvrait 10% de la classe du MOS « Plage, dune, sable », le pourcentage de recouvrement pouvait être lié à la résolution spatiale de 10 mètres des images Sentinel, ou même à l'ancienneté de la précision géographique du MOS. Néanmoins, si une surface brûlée intersectait 30% des surfaces en eaux situées au-delà du trait de côte de la Nouvelle Calédonie, de fait on considérerait son caractère aberrant qu'il convenait alors de supprimer.

2.3.3.4. La vérification des surfaces brûlées situées au-delà du trait de côte

Des aberrations liées aux nuages et situées à proximité du trait de côte ont été identifiées pour le satellite Landsat. Afin d'avoir la certitude que des aberrations de ce type ne sont pas également présentes dans les détections issues des satellites Sentinel, un croisement a été réalisé.

Pour ce faire, ne possédant pas de couche représentant le domaine maritime, une classe d'entités composée d'un polygone entourant largement l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie a été créée. Puis grâce à l'outil effacer, utilisé avec l'emprise terrestre, les surfaces marines ont été isolées. Une intersection et une récapitulation entre les surfaces brûlées et les surfaces en eaux situées au-delà du trait de côte de la Nouvelle-Calédonie ont ainsi été effectuées. Ensuite, le script de croisement des valeurs a été employé afin notamment d'identifier les détections possédant au moins 25% de leur surface dans des zones en eaux. La pertinence des 6 surfaces brûlées concernées par ce croisement a ensuite été vérifiée par photo-interprétation, dont 2 seulement se sont avérées être des aberrations.

Cette étape de contrôle vient compléter la vérification se focalisant sur les modes d'occupation des sols jugés aberrants, car celle-ci permettait d'exclure les surfaces en eaux localisées sur le territoire, mais ne prenait pas en compte celles qui recoupaient les zones maritimes.

2.3.3.5. Le croisement informatif avec la couche des sols de type cuirasse

La télédétection utilisant le rayonnement électromagnétique des objets, des erreurs de détection liées à la ressemblance de la réponse spectrale d'autres objets à celle des incendies peuvent être rencontrées. Le territoire calédonien dispose de sols cuirassés qui possèdent une réponse spectrale proche de celle des incendies. Ces sols se rencontrent sous des climats tropicaux et sont les résultats de l'altération des couches superficielles des sols ferralitiques provoquant la formation de sols latéritiques laissant apparaître des cuirasses. Elles peuvent prendre différentes formes, continues ou disloquées comme le présentent les photographies prises sur le terrain de la figure ci-dessous :



Figure 16 : Exemples de sol cuirassé observé lors d'une sortie de terrain le 2 août 2018 dans les alentours de Yaté. Crédit photographie : OEIL

Disposant d'une donnée relative à la localisation de certaines cuirasses (données Géologie au 1/50000 de la DIMENC et du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie) mise à jour en 2013, un croisement a été réalisé afin d'identifier les surfaces brûlées qui se trouvaient sur des cuirasses. La table attributaire présente deux types de cuirasses ; en place et démantelées. Les cuirasses « en place » faisant référence aux secteurs de cuirasses continues, alors que le terme « démantelé » fait appel au caractère disloqué des cuirasses qui se présentent alors sous la forme d'agglomérats de blocs.



Figure 17 : Représentation de l'emprise spatiale des sols cuirassés
Source des données : DIMENC, OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

Une *intersection et une récapitulation* ont été effectuées puis la table obtenue a été utilisée pour renseigner le *script de croisement des valeurs* avec un seuil de 25% de recouvrement minimum. Cependant, ce croisement est à relativiser dans la mesure où la donnée concernant les cuirasses n'est pas exhaustive à l'échelle du territoire. De plus, la précision géographique de la digitalisation des zones de cuirasses n'est pas la même sur toute la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, la précision est plus ou moins fine en fonction des zones de cuirasses. De fait, le choix a été fait de n'utiliser cette information qu'à titre indicatif. En effet, on pourra consulter la localisation des cuirasses et avoir une vision sur les surfaces brûlées qui les recoupent, mais en aucun cas des aberrations ne pourront être formellement identifiées grâce à ce croisement.

Ainsi, les divers traitements effectués pour détecter des surfaces brûlées erronées ont permis de mettre en avant un certain nombre d'aberrations, leur dénombrement et des détails sur les traitements les ayant identifiées seront abordés dans le *Tableau 8* du présent rapport. On peut tout de même noter que les aberrations détectées lors de ces phases de contrôle ne représentent que 3,3 % de la surface totale cumulée de la base de données des surfaces brûlées de Sentinel pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018.

Dans la prochaine phase de contrôle, nous verrons l'intérêt associé au croisement avec des données externes pour identifier des surfaces brûlées communes et ainsi les valider de manière certaine.

2.3.4. La validation par le biais de données complémentaires sur les incendies

Les prochaines étapes de contrôle des surfaces brûlées s'appuieront sur la recherche de concordance entre les surfaces détectées de notre base de données et les incendies répertoriés par des sources d'informations extérieures dont la fiabilité est importante. Ces données ont pour partie été acquises à la suite d'échanges avec des acteurs de l'environnement en Nouvelle-Calédonie qui ont bien voulu participer au bilan de l'impact environnemental des incendies par le biais de la transmission des informations qu'ils possédaient sur les incendies.

2.3.4.1. Prérequis nécessaires

Les traitements effectués lors de cette étape reposent sur l'intersection entre les surfaces incendiées du VIIRS, les levés aéroportés de la DSCGR ainsi que les incendies relevés par le WWF. Cependant, le fait qu'une surface brûlée détectée par Sentinel intersecte une surface incendiée issue d'une autre source de donnée n'est pas suffisant. Aucune validation d'incendie pertinente ne pourrait être basée uniquement sur une intersection. D'autres facteurs doivent être intégrés afin que le degré de certitude associé au contrôle soit acceptable. La comparaison entre les dates des événements peut par exemple être porteuse d'information.

Les données possèdent des informations attributaires relatives à la date de l'événement. Ainsi, la vérification des surfaces brûlées s'appuiera sur la prise en compte de la différence de jours entre les surfaces s'intersectant, afin de déterminer si elles correspondent au même événement. Mais jusqu'à combien de jours de différence peut-on considérer que le croisement fait bien état du même incendie ? La chaîne de traitement détecte pour chaque image tous les pixels ayant une réponse spectrale associée aux surfaces brûlées. Ainsi, la persistance de l'empreinte de la surface brûlée implique que le processus d'analyse des images va détecter à de multiples reprises le même événement. Cette répétition de la détection aura pour conséquence de créer un décalage temporel avec la date d'éclosion de l'incendie renseignée par la source extérieure. Ce décalage pourrait être perçu comme une erreur, alors que c'est seulement la longévité de la signature spectrale qui affecte le processus de détection.

Afin d'apporter une précision supplémentaire dans la recherche de concordance entre les sources de données, des recherches bibliographiques ont été menées. Plusieurs études font état de

l'impact des types de sols calédoniens sur la reprise de la végétation après un incendie et par extension sur la durée de persistance du signal.

Ainsi, ces étapes de vérification auront pour but principal de valider les traces de surfaces brûlées avec des données extérieures tout en intégrant à minima la dynamique du territoire.

2.3.4.2. La prise en compte de la persistance du signal

La persistance de la trace d'incendie va être influencée par des facteurs intrinsèques au territoire en question, comme le type de sol. En Nouvelle-Calédonie, le type de substrat influe grandement sur le processus de reprise de la végétation et donc sur la persistance de la signature spectrale des incendies. Deux types majoritaires sont présents sur le territoire, à savoir les sols de type ultramafique sur lesquels la persistance s'étend sur plusieurs mois, et les sols de type volcano-sédimentaire qui ont pour particularité de favoriser une repousse rapide de la végétation et ainsi réduire le temps de visibilité des traces d'incendies par les capteurs des satellites.

Une couche faisant étape de la différenciation entre les grands types de substrats n'existe pas en soi. Celle-ci a été constituée à partir d'une classification manuelle réalisée par Brice Sevin⁵ sur le champ légende de la couche SurfaceGeologique_50000 de la DIREN. Il a établi une classification en 5 classes ; acide, calcaire, sédimentaire, ultramafique et volcano-sédimentaire.

L'intérêt se porte sur les deux grands types de substrats majoritaires possédant une influence sur la persistance du signal, à savoir l'ultramafique et le volcano-sédimentaire. Ainsi, une sélection attributaire a été réalisée sur la couche afin de sélectionner les entités relatives à chaque substrat d'intérêt, et ce grâce au document : Classification_principale_Brice_Sevin_Geologie_50000. Puis, les trois autres types de substrats ont été regroupés dans une classe « Substrat_Autre » dans la mesure où aucun écrit ne fait état de la persistance du signal sur ces types de substrats. La figure ci-dessous présente l'emprise spatiale des trois types de substrats sur le territoire :



Figure 18 : Représentation de l'emprise spatiale des types de substrat sur le territoire calédonien
Source des données : Classification principale des données géologiques au 1/50 000 de la DIMENC de Brice Sevin, OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset

⁵ Ingénieur Géologue pour la DIMENC qui a réalisé la classification à la demande de l'OEIL

La classe d'entité concernant les types de substrats étant créée, l'outil de croisement des valeurs a été utilisé afin de déterminer le substrat majoritaire pour l'emprise de chaque détection. Ensuite, le script a été lancé à plusieurs reprises afin de récupérer les informations concernant :

- La concaténation des identifiants des incendies des bases de données externes croisés avec les surfaces brûlées de Sentinel (croisement avec l'**identifiant** de chaque classe d'entité de données exogènes)
- La concaténation des dates des incendies des bases de données externes (croisement avec le champ contenant la **date de l'évènement** incendie des classes d'entités externes)

La différence de jours séparant les détections s'intersectant a été calculée dans un nouveau champ sur la table de résultat de l'intersection, grâce au calculateur de champs et à l'expression VB :

DateDiff ("d", [Date_Donnee_externe_Intersection] , [Date_Sentinel_base])

- La concaténation des différences de jours entre les événements s'intersectant (croisement avec le champ de **différence de jours** entre incendies des bases de données)

Les différences de jours étant calculées, il paraît intéressant de ne retenir que l'information concernant la différence de jours minimale qui sépare les polygones afin de valider les surfaces brûlées de Sentinel qui se rapprochent le plus de l'évènement de la donnée externe intersectée.

De fait, une réflexion a été portée sur l'ajout d'un paramètre supplémentaire à l'outil de croisement des valeurs afin que la différence de jours minimale entre les événements soit disponible dans un champ. Cette fonctionnalité est essentielle dans la mesure où certains polygones Sentinel sont recoupés par plusieurs événements des données externes. Ainsi cette information permettra d'exclure les événements se croisant mais ne correspondant pas aux mêmes incendies.

Après l'ajout de la sélection du minimum, les résultats de différence de jours peuvent également correspondre à des chiffres négatifs dans la mesure où une détection de Sentinel peut croiser un incendie d'une base de données extérieure, qui est antérieure à sa date. La soustraction a été réalisée par rapport aux données externes, donc on s'intéressera aux résultats positifs.

Le problème était lié à la sélection du minimum, l'outil sélectionnant le plus petit nombre disponible dans la concaténation. Des valeurs minimums de différences de jours de -233 étaient par exemple présentes dans la table. Afin de se focaliser sur les résultats des croisements avec des surfaces brûlées ayant une date plus ancienne que les incendies des sources de données croisées, nous avons décidé d'ajouter la particularité de spécifier si le croisement concernait des différences de jours. Ainsi, un système de choix est disponible. Si le traitement concerne des différences de jours, il faut cocher oui et l'outil ne sélectionne que les valeurs supérieures à -3 au cours de son traitement, et le calcul du maximum ne se fera pas. Si la valeur non est cochée, alors aucun changement n'est affecté et le traitement prendra le minimum comme d'habitude et la détermination du maximum sera effectuée.

À noter que le seuil de -3 jours de différence a été fixé par rapport à la possibilité qu'une surface brûlée de Sentinel puisse avoir été détectée quelques jours avant l'incendie de la donnée extérieure. Cette configuration peut notamment se rencontrer pour certains levés aéroportés de la DSCGR, dépendant de s'ils ont été réalisés pendant ou après l'incendie.

2.3.4.2.1. L'étude statistique sur un échantillon de surfaces brûlées

Peu d'écrits et d'études ont été réalisés sur le thème de la durée de persistance du signal de la trace d'incendie en fonction du substrat en Nouvelle-Calédonie. Nous ne possédions que des approximations issues du lot 3 de l'étude de faisabilité pour la mise en place d'un suivi de l'impact environnemental des feux⁶. Elle faisait état d'une persistance du signal de 9 mois pour le substrat volcano-sédimentaire et de plusieurs années pour le substrat ultramafique. Seulement, ces conclusions ne reposaient que sur l'observation de l'évolution des empreintes de deux incendies, un sur chaque substrat.

Afin d'introduire l'information relative à la longévité des traces d'incendies aux étapes de contrôle, il était nécessaire de disposer d'une temporalité plus précise. Ainsi dans le prolongement des travaux que BluechamSAS avaient réalisé sur deux incendies, nous avons mené une étude statistique de la durée moyenne de la persistance des surfaces brûlées. Un échantillon de 60 surfaces brûlées de Sentinel a été sélectionné, 30 relatifs à chaque type de substrat d'intérêt. Une sélection de 20 surfaces brûlées pour les deux substrats majoritaires s'est appuyée sur des croisements avec les données extérieures sur les incendies ; 10 polygones basés sur les levés aéroportés de la DSCGR et 10 sur les surfaces brûlées du VIIRS. Les 10 dernières restantes pour chaque substrat ne croisent aucune donnée exogènes sur les incendies. Le but de l'étude statistique est d'étudier le comportement des détections de la chaîne de traitement de Sentinel face à la persistance du signal, et non de réaliser une étude exhaustive sur la persistance du signal en Nouvelle-Calédonie.

La détermination de la persistance du signal s'est appuyée sur la première et la dernière date des détections qui s'intersectaient entre elles, puis une vérification par photo-interprétation a été réalisée. La *Figure 19* met en avant le travail réalisé pour vérifier la persistance de la trace d'incendie. La surface brûlée se trouve à Bourail, Sentinel a détecté la trace pour la première fois le 17 août 2017 puis pour la dernière fois le 15 novembre 2017 soit une persistance du signal de 90 jours pour cette détection sur le substrat volcano-sédimentaire. À noter que la première image exploitable après le 15 novembre est celle du 20 décembre, on remarque alors que le signal de la détection a disparu.



Figure 19 : Représentation de l'évolution de la persistance de la trace de feu détectée par Sentinel le 17 août 2017 sur substrat Volcano-Sédimentaire

Source de données : OEIL. Fond : 1 : Image annuelle Géorep, de 2 à 5 : Sentinel Hub Playground (Color Infrared)

Lorsqu'une surface brûlée de Sentinel intersecte une détection du VIIRS ou de la DSCGR, la différence temporelle entre ces deux sources d'information permet d'apporter une précision supplémentaire sur le temps de persistance du signal.

Pour les surfaces brûlées Sentinel intersectées par les incendies du VIIRS et l'emprise des levés aéroportés de la DSCGR, la différence entre les dates de détections a été ajoutée au temps de persistance du signal, et ce, afin d'apporter une précision supplémentaire au temps de persistance du

⁶ *Etude de faisabilité pour la mise en place d'un suivi de l'impact environnemental des feux. Lot 3 : Protocole de suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux.* BluechamSAS. OEIL, 2013, 82p.

signal. En effet, des nuages peuvent empêcher la détection des surfaces incendiées lors du passage des satellites, la date réelle du début de l'événement peut ainsi être faussée. Sans données temporelles de référence pour les 20 échantillons non croisés par les données exogènes sur les incendies, une moyenne du nombre de jours de différence des 40 autres échantillons a été calculée puis appliquée à ces derniers. L'annexe 7 présente le détail de l'étude statistique.

Cette étude statistique a permis de montrer que la persistance de la signature spectrale des surfaces brûlées était visible avec un pas de temps plus important sur le substrat ultramafique. Le graphique ci-dessous indique que la variabilité est toutefois plus importante pour les échantillons situés sur le sol ultramafique. Des durées de persistance importantes poussent la moyenne vers le haut, on remarque également que l'écart interquartile est plus important sur le substrat ultramafique que sur le substrat volcano-sédimentaire.

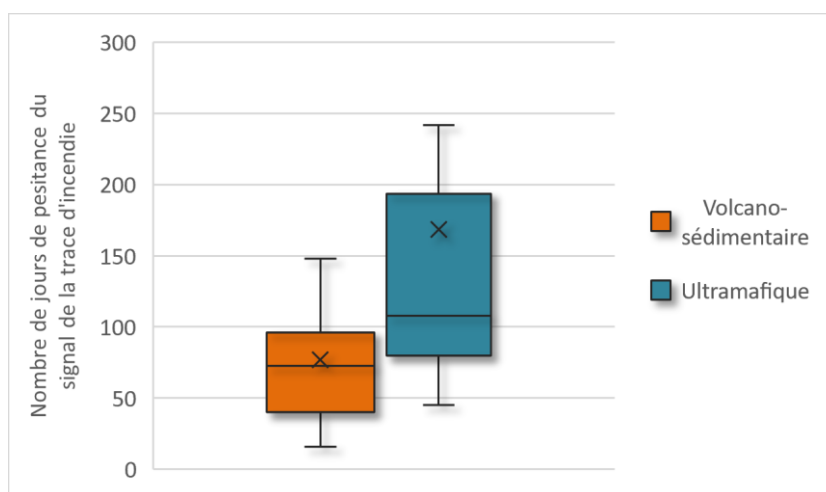


Figure 20 : Box plot résultant de l'étude du nombre de jours de persistance du signal de la trace d'incendie en fonction du type de substrat. [La ligne centrale de la boîte représentant la médiane, ces extrémités le 1^{er} et le 3^{ème} quartile. La croix correspond à la valeur moyenne]

Un test statistique a été mené sur les deux échantillons de persistance du signal en nombre de jours, afin de vérifier la significativité de l'effet du substrat. La distribution des données ne suivant pas une loi normale (test de normalité Shapiro-Wilk), le test non-paramétrique de Mann-Whitney a ainsi été effectué. Avec une p-value inférieure au niveau de signification alpha (0,05), le résultat du test indique que les deux échantillons sont différents, ce qui confirme l'hypothèse d'un effet substrat sur la durée de persistance du signal des incendies.

Ainsi, ajouter le type de substrat dans la logique de contrôle des données permet d'expliquer en partie les détections localisées au même endroit dans un laps de temps plus ou moins long.

2.3.4.2.2. La classification s'appuyant sur la différence de jours en fonction du substrat

Les données statistiques recueillies au cours de l'étude de l'échantillon de surfaces brûlées pour chacun des deux substrats, ont servi d'appui à la construction d'une classification. Cette dernière intègre des intervalles de temps où les reliquats de détection seront considérés comme des surfaces brûlées et non des erreurs de détections. Les seuils seront appliqués en fonction de la différence de jours séparant les surfaces brûlées des détections des données extérieures, se superposant sur un substrat donné, afin d'associer un degré de confiance aux surfaces brûlées contrôlées.

Trois classes qualifiant le degré de validation des surfaces ont ainsi été définies à l'aide de traitements statistiques, en s'appuyant sur les percentiles calculés sur le nombre de jours de persistance de la

signature spectrale des détections avec un échantillon de 30 surfaces brûlées pour chaque substrat majoritaire :

- « Certain » : Une certitude importante est associée aux surfaces brûlées dont le nombre de jours séparant les deux détections sera inférieur au percentile 75 du nombre de jours de persistance de la signature spectrale des feux (échantillon considéré, N=30 pour chaque substrat majoritaire)
- « Probable » : Un statut probable sera associé aux surfaces brûlées dont le nombre de jours séparant les deux détections sera compris entre les percentiles 75 et 90 du nombre de jours de persistance de la signature spectrale des feux (échantillon considéré, N=30 pour chaque substrat majoritaire)
- « À vérifier autrement » : au-delà d’une différence de jours dépassant le percentile 90 du nombre de jours de persistance de la signature spectrale des feux (échantillon considéré, N=30 pour chaque substrat majoritaire), la surface brûlée ne sera validée par cette étape du contrôle et devra être vérifiée autrement

À noter, que la classification inclut la distinction entre les résultats des calculs statistiques pour les deux types de substrats, mais également, elle propose des seuils pour le type de substrat « Autre » dont la durée de persistance de la signature spectrale n’a pas été caractérisée. Ainsi, les seuils de ce troisième substrat sont élaborés en faisant la moyenne des intervalles associés au volcano-sédimentaire et à l’ultramafique.

	Volcano-Sédimentaire	Ultramafique	Autres substrats
Percentile 75	94.25	185	139.625
Percentile 90	119.9	258.8	189.35

Tableau 7 : Percentiles pour les différents types de substrats. Source d’information : OEIL

Les classifications sont construites à partir des percentiles présentés ci-dessus, car le nombre de jours de persistance étant trop variable, les calculs statistiques reposant sur la moyenne n’étaient pas représentatifs. La ci-dessous illustre les intervalles de jours en fonction des substrats et les degrés de certitude qui leurs sont associés.

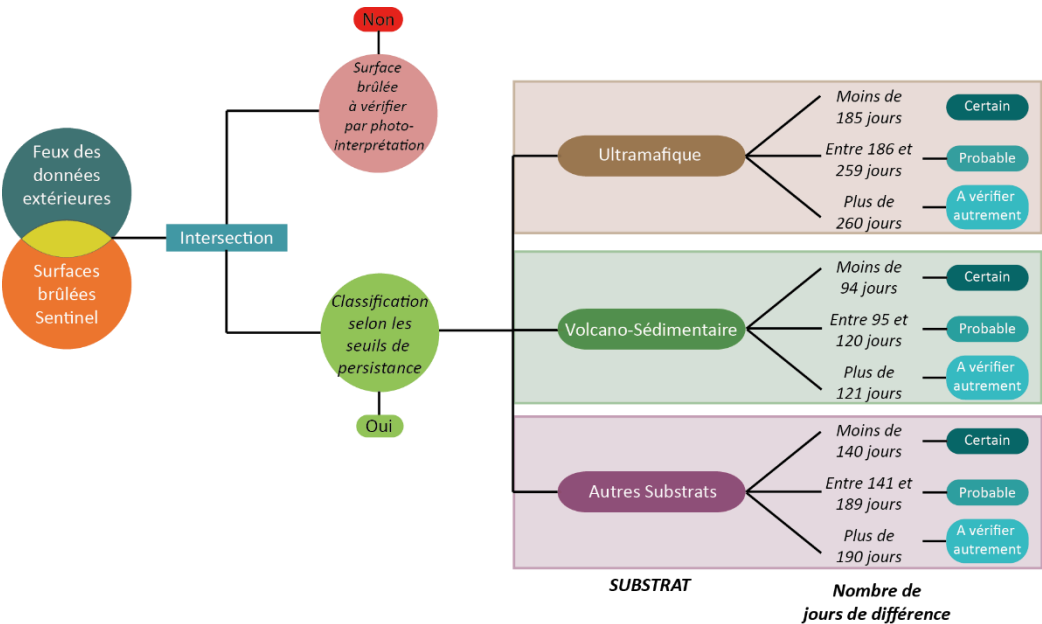


Figure 21 : Schéma de la classification des seuils de certitude en fonction du nombre de jours de différence et du substrat

Possédant des seuils de différence de jours rendant compte de la dynamique du territoire, le champ contenant le minimum des différences de jours a été exploité. En effet, une requête attributaire a été construite pour établir une reclassification en utilisant un langage VB. La requête fait également appel au champ contenant l'information du substrat majoritaire de chaque polygone. Ainsi, un nouveau champ a été créé, les lignes du code sont disponibles en annexe 8.

La classification relative à la différence de jours et le type de substrat a permis d'associer 11 460 polygones à la classe « Certain », soit environ 40 % du nombre de polygones de la base de données de Sentinel. On note tout de même l'apport considérable du VIIRS à ces validations, qui représente près de 70 % de ces dernières.

2.3.4.2.3. L'étude de la superposition des surfaces brûlées entre elles

La classification relative à la différence de jours et le type de substrat a permis de valider un certain nombre de surfaces brûlées intersectant les bases de données externes relatives aux incendies. Cependant, si des détections ne répondaient pas aux critères de croisement établis, elles devaient être vérifiées autrement. De fait, les données restantes sont essentiellement constituées par des surfaces brûlées qui n'ont été détectées par aucune autre source de données.

Ayant constaté au fil des étapes de contrôle que la répétitivité du signal de détection à un endroit donné pouvait être synonyme d'incendie, l'information apportée par la proximité des détections entre elles pourrait permettre de valider rapidement des surfaces brûlées. Cependant des précautions sont à prendre dans la mesure où la redondance de la signature spectrale peut également être due à une sur-détection des capteurs de Sentinel liée à la présence de cuirasses, ou encore de secteurs possédant une teneur en eau importante.

Ainsi, afin d'apporter une possibilité de validation supplémentaire, une réflexion a été portée sur l'information transmise par la superposition des surfaces brûlées restantes de Sentinel entre elles. La possibilité de sur-détection étant identifiée, nous décidons d'introduire une dimension temporelle qui visera à éviter les validations inappropriées.

Une intersection et une récapitulation sur les détections de Sentinel étaient alors nécessaire afin d'identifier les polygones qui s'intersectaient. À noter que la suppression de l'intersection des polygones identiques a été réalisée grâce à une requête attributaire sur la table en sortie du traitement d'intersection. Ensuite, l'outil de croisement des valeurs est utilisé pour concaténer les identifiants des polygones qui s'intersectent. Puis les informations temporelles ont été jointes à la table d'intersection avec l'outil champ de jointure :

- La date des surfaces brûlées initiale
- La date des polygones qui les intersectent

Ainsi, la différence de jours séparant les détections s'intersectant a été calculée dans un nouveau champ sur la table d'intersection.

Le script de croisement des valeurs a été à nouveau lancé afin de concaténer l'information de la différence de date entre les intersections dans un nouveau champ.

Possédant seulement les informations relatives aux intersections et aux différences de dates, nous n'étions pas encore en mesure de pouvoir valider des surfaces brûlées. En effet, la différence de jours devait être contrôlée pour vérifier qu'elle correspondait à des reliquats d'incendies et non à des aberrations.

La réflexion s'est alors tournée vers la mise en place d'une agrégation spatio-temporelle. Des surfaces brûlées pourront ainsi être validées grâce à l'information apportée par la superposition des traces d'incendies.

Dans l'optique d'assurer la cohérence entre les différentes phases de contrôle, les seuils de persistance du signal en fonction du type de substrat seront utilisés. Seuls les intervalles de jours des classes « certaine » seront appliqués pour valider des surfaces brûlées. En effet, une précaution supplémentaire doit être introduite dans la mesure où aucune source de données extérieure relayant les incendies sur le territoire n'a détecté ces derniers.

De plus, lors de l'agrégation spatio-temporelle, dans la mesure où des incendies classés comme « certain » pourraient intersecter des incendies invalidés, l'information concernant le degré de certitude associé aux surfaces brûlées, à cette étape du contrôle, sera prise en compte.

Une fois ces critères déterminés, il fallait disposer d'un outil capable de réunir les polygones respectant ces conditions. Le gestionnaire du pôle Système d'Information de l'OEIL a alors créé un script en python afin de pouvoir attribuer un identifiant commun aux surfaces brûlées répondant positivement à ces critères. Ma demande a insisté sur la possibilité de réunir dans un champ les différents seuils de certitude des polygones s'intersectant, puis d'associer un nouveau degré de certitude aux surfaces brûlées concernées en fonction du respect des critères de temporalité et d'intersection.

Ainsi, une classification intermédiaire a été réalisée. Elle réunit les classements des croisements avec les données externes sur les incendies précédemment réalisés. L'opérateur logique OU a été utilisé dans les requêtes attributaires, les classes sont les suivantes :

- Les polygones classés « certain »
- Les polygones classés « à vérifier autrement »
- Les polygones classés « probable »

Trois critères sont nécessaires pour la validation d'un groupe de surfaces : un critère spatial d'intersection entre les surfaces concernées, un critère temporel basé sur les seuils de persistance classés comme « certain ». Et enfin, il faut qu'il y ait au moins une des détections qui ait été caractérisée comme incendie « certain » pour que l'ensemble des autres détections du groupe soient validées. La [Figure 22](#) présente les différents cas de figure et la réaction du script en les rencontrant :

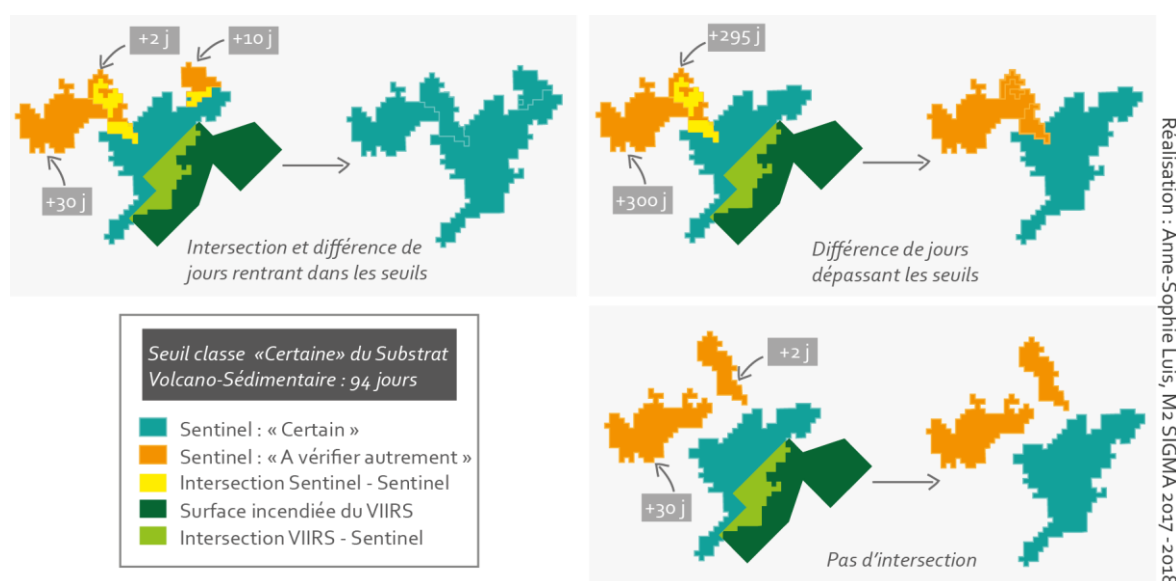


Figure 22 : Réaction de l'outil face aux différents cas de configuration

L'interface de saisie de l'outil de Préparation à la fusion des mêmes incendies est consultable en annexe 9.

Ainsi, le script a été lancé et a permis de faire passer de « probable » ou « à vérifier autrement » à « certain » 1 750 surfaces brûlées.

À la suite de ce traitement, certaines surfaces brûlées restent encore classées comme « à vérifier autrement ». Il s'agit de celles s'intersectant mais ayant un nombre de jours supérieur aux seuils considérés, ainsi que les détections étant isolées et ne se superposant à aucune autre surface brûlée. De fait, une attention particulière sera portée à la vérification de ces surfaces brûlées par photo-interprétation.

2.3.5. La vérification des surfaces brûlées restantes par photo-interprétation

Le troisième volet de contrôle des données s'est intéressé à un procédé utilisé de manière fréquente en télédétection, à savoir la photo-interprétation. Cette technique s'appuie sur une comparaison visuelle de l'emprise des surfaces détectées avec les images satellitaires sources ayant permis de générer ces surfaces.

Comme l'illustre la *Figure 23*, pour effectuer le contrôle visuel par photo-interprétation, on localise la surface brûlée potentielle étudiée, puis on regarde le secteur avant la date indiquée pour la détection, afin de vérifier si une trace est présente ou non, puis on regarde après la date en question afin de voir si une trace de feu est visible ou non.

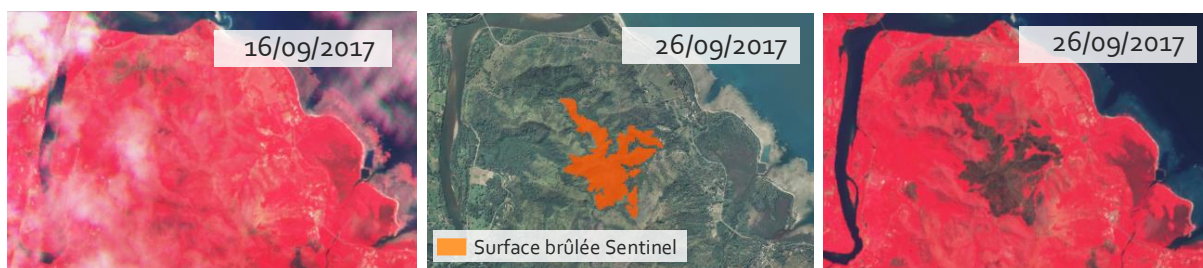


Figure 23 : Représentation des grandes étapes du contrôle visuel par photo-interprétation
Source de données : OEIL. Fond : 1 et 3 : Sentinel Hub Playground (Color Infrared), 2 : Image annuelle Géoportail

La plateforme utilisée pour cette étape de contrôle est Sentinel Hub Playground. Elle donne la possibilité de choisir la date de l'image satellitaire et d'appliquer des filtres de traitement des images comme par exemple la composition colorée basée sur l'infra-rouge, permettant de mettre en avant la végétation. Ainsi, les surfaces brûlées se distinguent clairement du reste de la végétation n'ayant pas été touchées par des incendies. La végétation saine apparaît dans les tons de rouges alors que les surfaces brûlées se présentent dans des tons sombres de noir et marron.

Le contrôle visuel par photo-interprétation reposant sur une vérification manuelle de chaque surface brûlée, la certitude associée à cette validation est très importante. Ainsi, le contrôle visuel par photo-interprétation a été intensifié sur les surfaces brûlées n'ayant pas été validées par les précédentes phases de contrôle.

En effet, cette étape du contrôle aura pour vocation de vérifier les dernières surfaces brûlées classées comme « probable » ou « à vérifier autrement » par les précédents croisements.

Afin de faciliter la validation par photo-interprétation de ces surfaces, les informations transmises par l'étude de la superposition des surfaces détectées ont été utilisées.

Lors du contrôle, on considère que si une surface brûlée est validée par photo-interprétation, qu'elle intersecte d'autres détections et que la différence de jours les séparant ne dépasse pas les seuils de persistance classés comme « certain » par type de substrat, alors l'ensemble des surfaces brûlées concernées seront validées par la même occasion. Si le nombre de jours séparant les surfaces brûlées est supérieur aux seuils, alors ces détections sont vérifiées indépendamment les unes des autres.

En parallèle de cette vérification, la source de données concernant la localisation des cuirasses a été utilisée afin de savoir si on était possiblement confronté à des sur-détections liées à des cuirasses (cf. Partie 2.3.3.5). L'utilisation de l'outil *Fréquence* a rendu compte du nombre de surfaces brûlées superposées, et a ainsi permis de mettre en avant des secteurs où plus d'une centaine de traces s'intersectaient au fil des mois voire des années. Bien loin d'être un cas à part, un grand nombre d'aberrations liées à la présence de cuirasses ont ainsi pu être décelées. En effet, 916 cuirasses ont été identifiées, soit 34,3 % des aberrations totales.

Au-delà des sur-détections liées à la réponse spectrale des cuirasses, d'autres types d'aberrations ont été relevés comme notamment les sur-détections liées à l'abondance de la couverture nuageuse, ou encore les fausses détections liées à la saturation en eaux des sols et à certaines surfaces en eaux.

Cette dernière étape de contrôle en se focalisant sur les surfaces brûlées non validées, a permis d'aboutir à la vérification de l'ensemble de la base de données des satellites de Sentinel.

Après avoir effectué différentes étapes pour contrôler les surfaces brûlées détectées par Sentinel en s'appuyant sur des sources de vérification, et sur la photo-interprétation, les étapes de contrôle ont été agencées les unes par rapport aux autres afin d'apporter un degré de qualification supplémentaire à la validation.

3. Résultats et discussion

3.1. Présentation des résultats

3.1.1. Présentation du degré de certitude associé aux surfaces brûlées

Les croisements entre les surfaces brûlées détectées par les satellites et les diverses sources de vérification des données ont permis de construire des classifications en associant un degré de certitude à chaque étape. En effet, si une détection répondait positivement aux critères de croisement des données, alors elle était considérée comme valide. A l'inverse, si elle ne répondait pas au croisement, une vérification supplémentaire était effectuée, puis si aucune ne permettait de valider le polygone, alors il était vérifié par photo-interprétation.

Le *Tableau 8* permet de retracer les résultats obtenus lors des différentes étapes de contrôle des données, à la fois en nombre de détections mais également en surfaces en hectare avec les ratios correspondants calculés par rapport au nombre et à la surface totale des données initiales pour chaque étape de contrôle.

Étape du contrôle	Résultat	Nombre de surfaces concernées	% par rapport au total pour chaque étape	Superficie en hectares	% par rapport au total pour chaque étape
Recherche des doublons	Aberration	901	3,3	3 919	2,7
Croisement avec les classes aberrantes du MOS	Aberration	404	1,5	892	0,6
Croisement avec les détections du VIIRS	Certain	10 224	37,8	83 587	58,4
	Probable	312	0,2	1 018	0,7
	A vérifier autrement	14 942	55,3	52 136	36,4
Croisement avec les levés aéroportés de la DSCGR	Certain	3 512	13	31 268	21,8
	Probable	97	0,4	346	0,2
	A vérifier autrement	21 869	80,9	105 127	73,4
Croisement avec les incendies répertoriés par le WWF	Certain	79	0,3	679	0,7
Vérification des surfaces brûlées par photo-interprétation	Validé par la photo-interprétation	16 135	60	82 206	57,4
	Aberration	1 366	5,1	3 893	2,7

Tableau 8 : Résultats des croisements effectués pour le contrôle des surfaces brûlées des données des satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie

Source d'information : OEIL

On remarque la part considérable de surfaces brûlées validées par le biais de la photo-interprétation, elle représente la source de validation de près de 60% du nombre de polygones de la base de données. Les croisements avec les données extérieures sur les incendies ont permis de valider environ 40% des surfaces brûlées détectées par Sentinel, dont plus de 70% sont liées à l'intersection avec les surfaces incendiées du capteur VIIRS.

Les différents contrôles des surfaces brûlées possédant tous une classe regroupant les détections validées, un traitement supplémentaire a été effectué afin de regrouper les surfaces validées. L'annexe 10 présente la table attributaire contenant les champs relatifs à tous les traitements effectués.

De manière générale, il est établi que si une détection est considérée comme valide par au moins un des croisements alors elle sera estimée comme « certaine » dans la mesure où toutes les données utilisées malgré leurs limites respectives restent des sources de validations correctes. Le tableau

suivant présente les surfaces brûlées considérées comme valides, les erreurs détectées ainsi que les ratios qu'elles représentent par rapport à la base de données initiale.

	Nombre de surfaces brûlées	Part	Surface concernée (ha)	Part
Certain	24 358	90,1	134 450	93,9
Aberration	2 671	9,9	8 703	6,1

Tableau 9 : Résultats de la classification finale et seuils de certitude associés aux surfaces brûlées détectées par les satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. *Source d'information : OEIL*

Ainsi, les différentes étapes de contrôles ont permis d'aboutir à la validation certaine de plus de 90% de surfaces brûlées détectées par le processus d'analyse des images des satellites Sentinel, représentant environ 93,9 % de la superficie totale cumulée des détections.

On note tout de même que les aberrations relevées représentent seulement 6,1 % de la superficie cumulée des surfaces brûlées des satellites Sentinel entre le 13 novembre 2015 et le 31 mars 2018. Si on enlève la part liée à la présence de doublons, les aberrations ne représentent plus que 3,4 % de la surfaces cumulées des polygones. La faible part d'aberration détectée permet d'affirmer que la chaîne de traitement des images satellitaires de Sentinel est performante.

3.2. Les limites associées au protocole de contrôle des données

Les différentes étapes de contrôle des surfaces brûlées ont permis de vérifier l'ensemble des données issues des satellites Sentinel. Cependant, un certain nombre de facteurs limitant viennent à considérer avec précaution la certitude associée aux données validées. En effet, la multitude de données extérieures utilisées, les choix effectués en matière de contrôle ainsi que les conditions mêmes de détection des surfaces brûlées par les satellites, possèdent des limites qui se doivent d'être identifiées.

3.2.1. Les limites liées aux données utilisées pour les croisements

3.2.1.1. Les données externes utilisées pour la validation des surfaces brûlées

Les étapes de contrôle des surfaces brûlées, s'appuyant sur la recherche de concordance entre les détections de la base de données Sentinel et les incendies répertoriés par des sources d'informations extérieures, possèdent des limites impactant le processus de contrôle.

3.2.1.1.1. Les limites liées à la précision des données

◦ Les surfaces incendiées du VIIRS :

Le croisement avec les données du VIIRS possède des limites compte tenu de la résolution spatiale de 375 mètres associées aux surfaces brûlées incendiées. De plus, la construction de ces détections reposant sur l'agrégation spatio-temporelle de points d'anomalies thermiques, les critères d'agrégation de 750 m d'éloignement et de trois jours de différences entre les détections peuvent être discutables.

◦ Les levés aéroportés de la DSCGR :

L'intersection avec les levés aéroportés de la DSCGR possède des limites. En effet, la précision de la digitalisation des contours de l'incendie dépend de l'opérateur, et de fait, tous les feux ne possèdent pas des contours définis avec la même précision. De manière générale, le contour de l'incendie étant réalisé en hélicoptère, la surface dessinée est assez grossière et représente l'empreinte maximale de l'incendie et non le périmètre réellement touché. De même nous ne sommes pas en mesure de savoir précisément si le levé a été réalisé pendant que l'incendie se déployait ou après son extinction.

- Les incendies du WWF :

Afin de garder une certaine cohérence, les incendies intersectés avec les surfaces brûlées de Sentinel devaient avoir une superficie supérieure à 1.5 hectare. Cet ajustement a induit une perte d'information dans la mesure où les données du WWF peuvent concerner des surfaces brûlées de taille inférieure. S'agissant de levés directement effectués sur le terrain, ces informations constituent donc une source de validation minutieuse de qualité, dont le potentiel n'est pas pleinement utilisé.

3.2.1.1.2. Les limites générales de l'utilisation des données externes de validation

Les croisements avec les bases de données exogènes sur les incendies possèdent des limites d'ordre plus général. En effet, hormis les étapes de vérification par photo-interprétation, l'ensemble des validations des surfaces brûlées repose sur les croisements avec ces données. La certitude associée à ces dernières est telle qu'elles représentent des excellentes sources de vérification. Cependant, la couverture dans l'espace et dans le temps des données étant relativement faible, la comparaison avec les données des satellites Sentinel n'est que partielle (cf. [Tableau 8](#)). Ce facteur implique que les surfaces brûlées n'intersectant aucune de ces données devront obligatoirement être vérifiées par la photo-interprétation, si l'ensemble des surfaces brûlées doit être contrôlé.

De plus, il est tenu de préciser que la transmission de certaines données nous a été refusée. En effet, la Province Nord, portée par le travail de Dominique Fleurot, répertorie depuis 2014 les surfaces brûlées par le biais de différentes méthodes allant de la photo-interprétation aux relevés terrain. Son travail et celui de ses collègues a débuté en 2014 et s'étale sur une période allant de 2000 à 2018. Ils possèdent ainsi une base de données d'environ 10 000⁷ polygones de surfaces brûlées. Cette information nous a été communiquée lors d'un rendez-vous avec Dominique Fleurot à Koné en Province Nord courant avril.

Ce type d'entretien représente l'opportunité d'établir des liens entre les structures et d'être informé des thématiques d'études et des données produites. Ces discussions permettent également d'appréhender les problématiques liées aux échanges de données entre structures et plus généralement entre provinces. Ignorant l'existence de telles difficultés dans les échanges entre professionnels, et n'imaginant pas la place prépondérante que la rétention de données pouvait occuper dans la dynamique interne du pays, mon désarroi et mon incompréhension ont été immenses face au refus de la transmission de la base de données. Une demande officielle a été soumise à la Province Nord, toujours sans réponse à l'heure actuelle. Étant géomaticien pour la Province Nord et à l'initiative de ce travail de collecte, Mr. Fleurot a accepté d'intersecter sa base de données avec celle des surfaces brûlées potentielles de l'OEIL et nous a transmis uniquement le résultat de l'intersection. Bien entendu, ces données ne sont aucunement communicables et n'ont pu être utilisées.

3.2.1.2. Les données utilisées pour détecter les aberrations

3.2.1.2.1. Le Mode d'Occupation du Sol

Le croisement avec les classes du MOS qui ne pourraient correspondre à des zones brûlées, a nécessité l'agrégation de différentes sources de données pour être représentatif de l'ensemble du territoire. Les MOS de la Province Sud et de la Province des Îles datant de 2014, contre 2008 pour celui de la Province Nord. L'ancienneté des données induit une possible source d'erreur pour les croisements effectués avec les surfaces brûlées localisées particulièrement en Province Nord. Par ailleurs, les caractéristiques intrinsèques telle que l'échelle de saisie et le typage des objets de ces données peuvent aussi présenter des limites.

⁷ Le nombre exact n'a pas été divulgué par la Province Nord

De plus, le MOS de la Province Nord est le fruit d'un travail global du Gouvernement sur l'ensemble du territoire. Les MOS de 2014 de la Province Sud et de la Province des Îles ont été élaborés sur la base d'un cahier des charges et de sources de données identiques. La contrainte liée à l'utilisation du MOS de 2008 pour la Province Nord, induit des disparités. Les classes répertoriées divergent sensiblement, notamment en termes de différenciation de la végétation. Ces caractéristiques induisent que le MOS composite que nous avons réalisé n'est utilisé que pour identifier des aberrations, avec en prévention un seuil de recouvrement minimal de 25% lors du croisement. En effet, aucune étape visant la validation des surfaces brûlées ne s'est appuyée sur une intersection avec le MOS.

3.2.1.2.2. Les secteurs de cuirasses

Les données concernant la localisation des cuirasses n'ont pu être réellement exploitées (cf. Partie 2.3.3.5). Néanmoins, la représentativité de ces types de sols sur le territoire calédonien additionnée à la confusion commise par les satellites lors de la détection des surfaces brûlées, confèrent à l'identification des cuirasses un caractère particulier, qui aurait mérité d'être traité de manière spécifique.

En effet, le fait de ne pas pouvoir s'appuyer sur la localisation des cuirasses identifiées par la donnée, implique qu'aucun traitement d'intersection n'était pertinent. De fait, les surfaces brûlées situées sur les secteurs de cuirasses ont été contrôlées au même titre que le reste des données par photo-interprétation, malgré la difficulté d'identification visuelle de ces dernières pour l'opérateur. En effet, les cuirasses bien que généralement localisées en nombre dans des secteurs particuliers, peuvent être entrecroisées par des zones de végétation rase plus ou moins dense qui peuvent brûler.

De plus, La signature spectrale des incendies et des cuirasses est tellement proche que l'utilisation de la composition colorée basée sur l'infra-rouge, mettant en avant l'impact des feux sur la végétation, n'est plus suffisante. Il convient alors d'utiliser d'autres sources d'imageries satellitaires comme Google Earth Pro qui donne la possibilité de remonter dans le temps et ainsi de visualiser des images plus anciennes que sur Sentinel Hub Playground.

La vérification par photo-interprétation nécessitant deux étapes distinctes, le temps associé au contrôle des surfaces brûlées sur les secteurs de cuirasses est multiplié par deux, et entièrement dépendant du contrôle visuel. En effet, si le contrôle visuel n'avait pas été réalisé, des secteurs de cuirasses n'auraient pu être identifiés par d'autres traitements au vu des données dont nous disposons pour réaliser l'étude.

3.2.2. Les limites associées aux choix effectués en interne

3.2.2.1. Les seuils de persistance se basant sur le nombre de jours de différence en fonction du substrat

Les validations reposant sur la classification relative à la persistance du signal pour chaque type de substrat possèdent des facteurs limitants qui sont à considérer.

Il est tenu de souligner qu'une étude statistique avec un échantillon de 60 surfaces brûlées n'est pas suffisante. La contrainte de temps a conduit à construire un échantillon de seulement 30 détections pour les deux substrats majoritaires. La faiblesse de la population étudiée induit une grande variabilité du nombre de jours de persistance du signal. Afin de disposer de statistiques robustes, il faudrait envisager d'augmenter la taille de l'échantillon et de le stratifier par type de végétation.

Les autres types de substrat présents sur le territoire ont été réunis dans la classe « Autre » dans la mesure où la persistance du signal sur les autres types de sols n'est pas clairement documentée. Une focalisation sur les substrats affectant de manière certaine la persistance du signal a été préférée, faute de temps disponible pour étudier la persistance du signal sur ces autres types de sol. De fait, une étude

des durées de persistance pour la classe « Autre » serait préférable à la moyenne des percentiles des deux autres classes actuellement employées.

De plus, le type de substrat n'explique qu'en partie la durée de la persistance du signal des surfaces brûlées. Les caractéristiques du milieu comme le type de végétation ont un impact non négligeable sur la longévité du signal. Ainsi, porter un intérêt au type de végétation affectée par les incendies permettrait d'apporter des éléments de réponse à la forte variabilité de la persistance de la signature spectrale. Cette dernière sera plus longue si le type de couvert brûlé est arboré que si la zone incendiée est occupée par une végétation de type herbacée. De même, la période de déclenchement de l'incendie va intervenir sur la durée de reprise végétale. Si l'incendie se produit à la fin de la saison sèche, le retour des précipitations intenses avec la saison humide va induire une reprise de la végétation plus rapide, contrairement aux incendies se déclarant en début de saison sèche.

La persistance du signal pourrait également être influencée par d'autres facteurs environnementaux comme le degré de pente du terrain, l'altitude à laquelle le feu s'est déclaré, ou encore la pluviométrie du secteur. De fait, la persistance du signal n'est pas consécutive à un seul élément mais à une multitude de facteurs qu'il n'a pas été permis d'étudier ici.

À noter que concernant le type de substrat associé à chaque surface brûlée, le choix a été porté arbitrairement vers celui représentant le recouvrement le plus important pour chaque détection. Par exemple si une surface brûlée est recoupée à 60% par un substrat ultramafique, 35 % par un substrat volcano-sédimentaire et 5% par la classe autre, alors c'est le substrat ultramafique qui sera associé à cette détection.

3.2.2.2. Les taux de recouvrement minimum

3.2.2.2.1. Le choix d'appliquer un taux de recouvrement de 25%

Le croisement avec certaines données utilisées pour détecter des aberrations ont nécessité d'appliquer un seuil de recouvrement minimum afin d'être considérées comme des surfaces brûlées erronées (cf. Parties 2.3.3.3, 2.3.3.4, 2.3.3.5).

Le choix d'appliquer les mêmes seuils de recouvrement minimum de 25% aux deux types de MOS, à savoir celui de 2008 et celui de 2014, possède une limite. En effet, un seuil différent aurait pu être introduit dans la mesure où les échelles d'utilisation préconisées ne sont pas les mêmes. De plus, la validation des classifications des deux MOS est sensiblement espacée, celle de la Province Sud étant supérieur de 10 %. Les intersections avec les surfaces brûlées seront moins précises en Province Nord qu'en Province Sud et des îles, où le seuil de recouvrement minimum avec les classes du MOS jugées aberrantes aurait pu être réduit.

De même, le taux de recouvrement appliqué au croisement avec les cuirasses aurait pu bénéficier d'un seuil minimum autre que 25%, l'échelle de consultation de la donnée étant au 1/50 000ème. Cependant, ce croisement n'a été réalisé qu'à titre indicatif, le taux de recouvrement n'a ainsi pas de réel impact sur l'identification des aberrations.

3.2.2.2.2. Le choix de ne pas appliquer de taux de recouvrement minimum

Le choix de ne pas appliquer de taux de recouvrement minimum pour les surfaces brûlées qui intersectent les bases de données extérieures peut être discutable. Néanmoins, étant conscient que ce choix pouvait créer des validations abusives de détections, un calcul du nombre de jours séparant les surfaces brûlées se croisant a été introduit. Afin d'appliquer une réserve supplémentaire, les seuils en nombre de jours permettant de valider les surfaces détectées ont été basés sur le type de substrat des surfaces brûlées. De fait, pour qu'une surface brûlée soit validée après un croisement, il fallait que

la différence de jours soit comprise dans les intervalles de temps définis précédemment par type de substrat (cf. Partie 2.3.4.2.2).

3.2.2.3. Le choix des classes du Mode d'Occupation du Sol pour la détection des aberrations

La construction du MOS composé uniquement des classes jugées aberrantes a nécessité de réaliser certains choix (cf. Partie 2.3.3.3). De manière générale, les classes où des incendies sont susceptibles de se déclarer ont été exclues. Par exemple, après réflexion, la classe « Décharges, chantiers et extractions de matériaux » du MOS de 2008, et la classe « Décharges, chantiers, extractions de matériaux : hors mines » du MOS de 2014 ont été exclues des classes aberrantes car a été considéré la possibilité que des incendies d'origine criminelle puissent se déclarer à proximité des décharges. Cependant, la classe « Mines, décharges minières, infrastructures et chantiers miniers » du MOS de 2014 a été associée aux classes aberrantes car a été considéré le fait que les surfaces brûlées recoupant cette classe seraient liées à l'activité minière.

De plus, les classes « Nuages » et « Zones d'ombres » du MOS de 2008 n'ont pas été associées aux classes aberrantes dans la mesure où elles représentaient des zones du territoire où l'usage du sol n'avait pu être identifié à cause des images satellitaires utilisées. Ainsi, elles ont été conservées afin que les surfaces brûlées possiblement situées à ces endroits puissent être vérifiées par le biais d'autres traitements.

De même, les classes « Habitat isolé » du MOS de 2014 et « Zones d'habitations » du MOS de 2008 ont été exclues des classes aberrantes car a été considérée la possibilité que des incendies se déclarent à proximité de ces zones. En effet, un recouvrement supérieur à 25% pourrait être réellement synonyme d'incendie et non d'aberrations dans la mesure où les zones d'habitats concernées sont entourées d'une végétation susceptible de brûler. À contrario, il a été décidé d'inclure les classes « Tissu urbain continu » et « Tissu urbain discontinu » du MOS de 2014 aux classes aberrantes, dans la mesure où un tissu urbain fait référence à une certaine densité du bâti, excluant de fait la présence de combustible d'origine végétale.

3.2.3. Les limites liées aux taux de recouvrement nuageux

3.2.3.1. Problématique pour la détection des surfaces brûlées

De manière générale, les surfaces brûlées sont détectées par des satellites dont la qualité et l'exploitabilité des images dépendent des conditions météorologiques. La présence de nuages et des ombres portées leur étant associée, a des conséquences sur les détections de surfaces brûlées. En effet, il a été constaté, sans qu'une réponse au problème soit trouvée, que le processus d'analyse des images peut être amené à produire des surfaces brûlées erronées quand des masses nuageuses sont présentes sur les images analysées.

De plus, au-delà de la création d'aberrations, les nuages peuvent également avoir comme conséquence de masquer des surfaces brûlées, qui de fait ne seront nullement détectées par la chaîne de traitement. En effet, même sans que la globalité de l'image ne soit couverte par une masse nuageuse, les conditions atmosphériques en Nouvelle-Calédonie impliquent qu'il est très rare de disposer d'une image où aucun nuage n'est présent. La partie Sud du territoire est très impactée par ce phénomène (cf. Partie. 2.3.3.1).

3.2.3.2. Problématique pour l'étude statistique de persistance du signal

Le recouvrement nuageux a pour conséquence d'interrompre la traçabilité du feu, et ainsi de fausser le suivi de la persistance de l'empreinte des détections. Ceci peut notamment être impactant pour l'étude statistique de la persistance du signal. Si aucune image n'est disponible pendant une longue période, par exemple, la reprise végétale sur le substrat volcano-sédimentaire aura largement débuté, sans que l'on sache précisément quand la trace n'était plus détectable par le processus. Cette

caractéristique pourrait être une des causes de l'hétérogénéité des durées de persistance du signal pour chaque type de substrat. Ainsi, augmenter le nombre de surfaces brûlées étudiées permettaient en partie d'atténuer l'influence de ce problème.

3.2.4. Les limites générales du contrôle des données

3.2.4.1. L'automatisation du processus d'analyse des surfaces brûlées

Les données des surfaces brûlées ont pour vocation d'être diffusées. Ainsi, en fonction des usages futurs associés aux données des surfaces brûlées, leur localisation est à considérer avec précaution, compte tenu de la résolution spatiale de 10 mètres des images des satellites.

3.2.4.2. L'utilisation de la photo-interprétation

Le nécessaire croisement entre les données pour arriver à une validation implique qu'un certain nombre de surfaces brûlées ne peut répondre à ce critère, et de fait, elles restent non vérifiées par les premières étapes du contrôle. Ainsi, le choix a été établi de contrôler l'ensemble des données restantes par photo-interprétation. Cette stratégie a nécessité l'investissement d'un temps important dont l'ampleur n'était pas prévue dans la gestion des tâches associées au contrôle des surfaces brûlées, et de fait du stage.

La photo-interprétation a certes été identifiée comme processus robuste de validation, néanmoins l'erreur humaine est possible et peut concerner certaines surfaces brûlées validées ou invalidées. C'est notamment le cas lorsqu'une partie de l'image est couverte de nuages, dont la masse faiblit à ses extrémités et où il est particulièrement difficile pour l'opérateur de repérer la zone à contrôler.

Le fait de ne pas posséder de flux d'images pour Sentinel 2 intégrables sur ArcGis, a été un élément limitant dans le contrôle visuel. L'utilisation de la plateforme induisait une lenteur non négligeable et un risque d'erreur de localisation des surfaces brûlées.

De plus, le procédé de photo-interprétation fait appel à l'expertise de l'opérateur et ne peut en aucun cas être automatisé. De fait, l'intégration des surfaces détectées par le processus après le 31 mars 2018 pose questionnement quant à la possibilité de renouveler un tel effort de vérification visuelle par photo-interprétation.

3.2.4.3. La détection des aberrations

La détermination des aberrations est plus ou moins complexe en fonction de leurs origines. En effet, les surfaces erronées liées à la présence de nuages et de leurs ombres portées sur les images satellitaires ne peuvent être prévisibles et nécessitent de passer par la photo-interprétation. Si une image est porteuse d'aberration sur une zone de la Nouvelle-Calédonie, elle ne l'est pas pour autant sur le reste de son emprise. La vérification devra alors être encore plus minutieuse pour ne pas risquer de supprimer des surfaces brûlées valides localisées dans des zones où les nuages sont plus ou moins couvrants.

De plus, la nouveauté associée à la production de surfaces brûlées automatisée par une de chaîne de traitement des images en Nouvelle-Calédonie, induit qu'aucune base de données sur les aberrations récurrentes n'existe pour l'heure. C'est au travers de cette étude qu'une donnée relative aux aberrations redondantes comme les pistes d'atterrissages, les zones où la teneur en eau est importante ou encore les cuirasses, pourra être construite. Cette dernière pourra possiblement être intégrée à la chaîne de traitement afin d'éviter que les mêmes aberrations récurrentes ne soient contrôlées à nouveau lors de l'intégration de nouvelles surfaces brûlées potentielles.

3.3. S'approcher de l'évènement incendie

Armé d'une base de données dont la qualité a été prouvée, nous voulions arriver à caractériser au mieux les surfaces incendiées réelles de Sentinel 2. En effet, le bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie nécessite une quantification des surfaces brûlées. Il était alors essentiel de réunir les surfaces brûlées superposées qui correspondaient au même évènement incendie. Il faut garder en mémoire que les incendies sont détectés par des satellites qui sont soumis aux conditions météorologiques. De plus, la persistance du signal de la trace d'incendie implique une redondance d'informations liée à la recherche constante de surfaces brûlées par la chaîne de traitement, et ce, sur toutes les images en ne s'intéressant pas aux changements. La revisite de Sentinel 2 tous les cinq jours sur la Nouvelle-Calédonie implique également que la première date de détection des surfaces brûlées ne corresponde pas forcément à la date d'éclosion du feu. Ainsi le but n'est pas d'arriver à définir le jour précis du départ de feu, mais plutôt d'arriver à réunir les détections qui relèvent du même incendie.

De fait, des traitements supplémentaires pour essayer d'identifier les polygones qui correspondent aux mêmes évènements ont été nécessaires. Mais quels critères utiliser pour réunir les reliquats d'incendies dans la mesure où ils ne se superposent pas forcément ? En effet, la chaîne de traitement ne détectera que les parties de feux qui ne seront pas dissimulées par les nuages ou leurs ombres. Les conditions atmosphériques en Nouvelle-Calédonie impliquent qu'il est très rare de disposer d'une image satellite où aucune masse nuageuse n'est présente. Ainsi, les traces d'un même incendie produite par le processus d'analyse des images seront possiblement découpées en différents polygones.

3.3.1. Fusion spatio-temporelle 1

L'étude de la superposition des surfaces brûlées a permis de valider 1 750 surfaces brûlées supplémentaires (cf. Partie 2.3.4.2.3). Lors des phases de contrôle des données, les résultats de l'outil de préparation à la fusion des données, n'ont été utilisés qu'à titre indicatif. À présent, nous décidons de réaliser la fusion en fonction de l'identifiant de fusion créé par l'outil qui s'appuie sur les critères spatio-temporels définis précédemment.

Cette première phase d'agrégation des polygones a donné des résultats intéressants. On passe de 24 358 surfaces brûlées à 4 406.

En observant les polygones fusionnés en comparaison avec des évènements connus comme ceux de la DSCGR, on remarque que certains groupes de polygones n'ont pas été fusionnés. L'explication est simple, ils ne se superposent pas, le schéma ci-dessous présente un exemple de ce cas de figure :

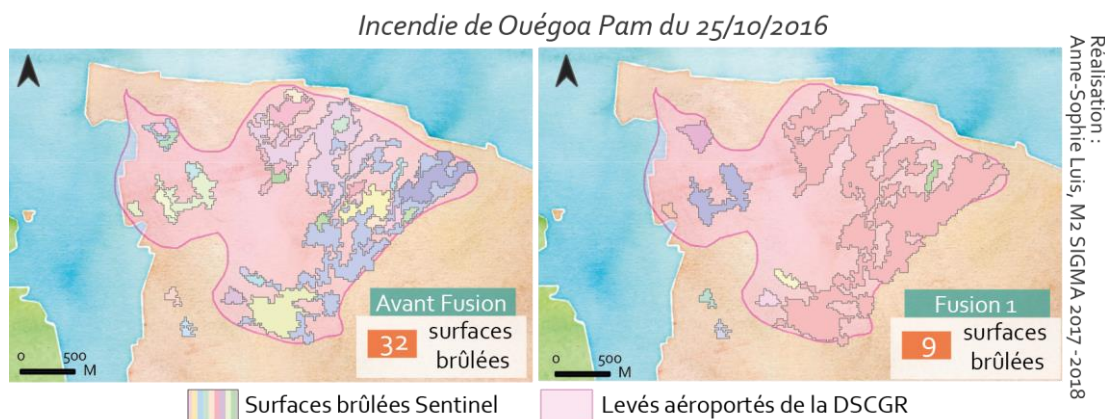


Figure 24 : Exemple d'un résultat de la phase de fusion pour des surfaces brûlées de Sentinel
Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset

Il paraît ainsi dommage de ne pas pousser l'expertise et de ne pas essayer de réunir d'une autre manière les traces d'incendies qui relèvent des mêmes événements.

3.3.2. Fusion spatio-temporelle 2

Ainsi, afin d'essayer de tester la possibilité de représenter au mieux la réalité des incendies, nous décidons de réfléchir à l'introduction d'une deuxième dimension spatiale, à savoir la distance séparant les incendies. Nous réfléchissons à la distance moyenne à laquelle peuvent se trouver des traces d'incendies détectées par les satellites et appartenant aux mêmes événements. Nous avons observé ces distances pour quelques feux, elles sont très aléatoires, allant de moins de 100 mètres à plus d'un kilomètre, mais cela ne peut pas être représentatif, nous en convenons. Cependant, dans la mesure où des nuages peuvent recouvrir une partie de la trace d'incendie, la distance à considérer ne doit pas être trop faible car les masses nuageuses sont souvent de grande ampleur. De plus, la taille minimum des surfaces brûlées détectées étant de 1.5 hectares, prendre une distance inférieure à 100 mètres ne serait pas représentatif. Ayant en tête ces paramètres, nous décidons de prendre une distance de 300 mètres. Un tampon de cette taille est alors appliqué aux polygones puis une intersection et une récapitulation sur la classe d'entités sont réalisées afin de savoir quels polygones s'intersectent (une suppression des mêmes polygones s'intersectant est réalisée afin de ne pas fausser l'analyse).

Cependant, afin de ne pas réunir des traces de feux qui ne dépendent pas du même événement, nous décidons d'appliquer une restriction temporelle à ces nouvelles fusions. Le temps de revisite des satellites Sentinel 2 étant de 5 jours, nous décidons de calculer la différence de jours entre les polygones augmentés des 300 mètres qui s'intersectent. Ainsi, toutes les intersections possédant une différence de $-/+ 5$ jours, et une distance de moins de 300 mètres, seront regroupées.

Ne disposant plus du temps nécessaire pour réaliser un autre script, les traitements se sont appuyés sur les outils déjà mis en place en optimisant leur utilisation en détournant certains paramètres.

L'enchaînement des étapes effectuées est présenté dans l'annexe 11.

Grace à cette fusion, on passe à 2 604 polygones, soit un peu plus de la moitié de la précédente fusion.

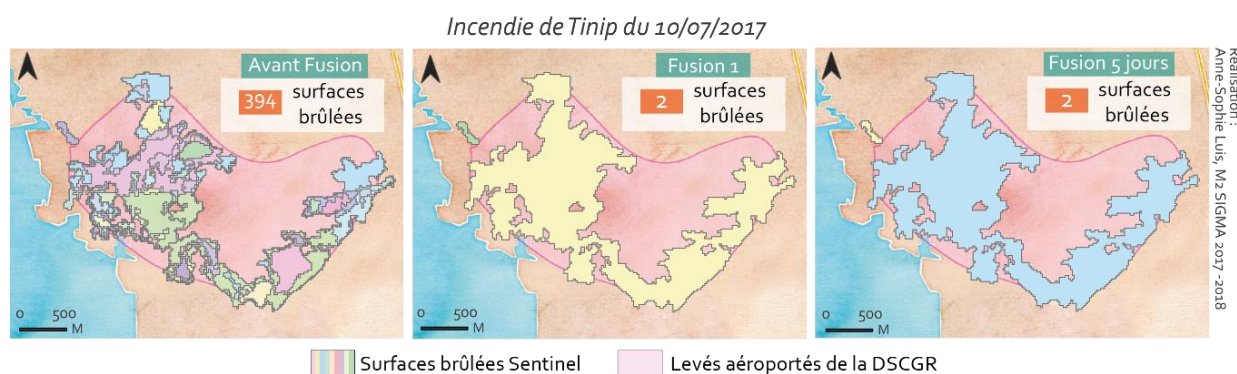


Figure 25 : Exemple d'un résultat de la phase de fusion avec comme critères 5 jours et 300 mètres de distance, pour des surfaces brûlées de Sentinel

Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset

En observant les résultats de cette deuxième phase de fusion, on se rend compte que beaucoup de traces proches et relatives aux mêmes événements ont été fusionnées. Cependant, comme le l'illustre la Figure 25, en observant les surfaces brûlées fusionnées en comparaison à l'emprise et à la date des levés aéroportés de la DSCGR, on remarque qu'il y a encore des polygones correspondant aux mêmes incendies qui n'ont pas été fusionnés. Les éléments constatés sont les suivants :

- La distance séparant les traces d'incendies est supérieure à 300 mètres
- La différence de jours entre les événements dépasse le seuil de 5 jours

Il serait alors intéressant de pousser les seuils que nous avons fixé afin de rendre possible l'agrégation des traces de feux par événement de manière encore plus fidèle. Ainsi, une phase de test a été menée en réalisant exactement le même processus de traitement avec 15 et 30 jours de différence. En effet, la modification du seuil temporel semble la plus pertinente dans la mesure où même si le temps de revisite de Sentinel 2-A et 2-B est de 5 jours, en réalité peu d'images satellites sont exploitables dans le mois. Cependant nous avons conclu que la distance séparant l'évènement était trop aléatoire. De fait, nous n'avons pas jugé pertinent d'augmenter cette distance, évitant ainsi de rapatrier des incendies déclenchés aux mêmes dates mais pour autant d'origine diverse.

Le Tableau 10 présente les résultats obtenus pour chaque année en fonction de la différence de jours :

		Année				
Fusion	Type de donnée	2015	2016	2017	2018	Total
5 jours	Nb de polygones	263	811	1 476	54	2604
	Hectares	3 727	8 509	24 075	338	36 649
15 jours	Nb de polygones	216	716	1 238	47	2 217
	Hectares	3 731	8 505	24 145	268	36 648
30 jours	Nb de polygones	202	647	1 010	41	1 900
	Hectares	3 749	8 495	24 162	242	36 648

Tableau 10 : Résultats des tests de fusion réalisés sur les données de Sentinel. *Source d'information : OEIL*

On remarque que plus le critère de la différence de jours est élevé, et plus le nombre de surfaces brûlées fusionné est important. Une vérification visuelle sur quelques cas a été effectuée, en s'appuyant sur le contour et la date des levés aéroportés de la DSCGR. Voici deux exemples élémentaires.

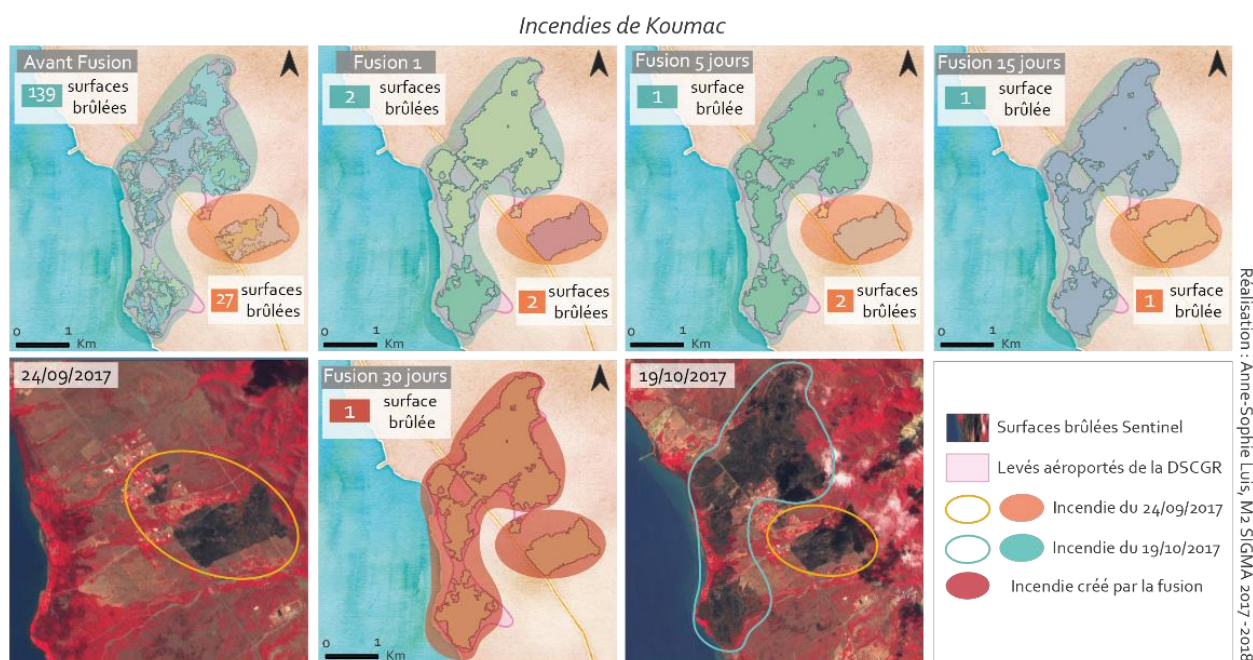


Figure 26 : Comparaison des résultats des phases de fusion pour des surfaces brûlées de Sentinel correspondant à deux incendies à Koumac

Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset, Sentinel Hub Playground (Color Infrared)

Comme le met en avant la *Figure 26*, les résultats de la fusion à 30 jours de différence ne sont pas convaincant pour la majeure partie des cas. En effet, il a été constaté que le fait d'augmenter la différence de jour provoquait des réunions d'incendies qui ne correspondaient pas aux mêmes événements, comme pour l'exemple de Koumac ci-dessus. Dans une démarche conservatrice et afin de ne pas réduire le nombre d'incendies réels, il a été décidé de conserver les résultats de la fusion spatio-temporelle qui reposaient sur une distance de 300 mètres et sur un seuil de 15 jours de différence entre les événements à fusionner.

À défaut de rendre compte du nombre exact d'incendie sur le territoire calédonien, cette démarche d'agrégation spatio-temporelle aura eu le mérite d'essayer de s'en rapprocher au mieux.

4. Bilan et perspectives

4.1. Conclusion

Les incendies représentent une des pressions majeures sur l'environnement calédonien. L'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie, par les missions qui lui sont rattachées, est porteur d'une volonté de caractérisation des impacts environnementaux sur l'ensemble du territoire. La mise en place d'une chaîne de traitements de détection des surfaces brûlées basée sur l'analyse d'images optiques, a permis de disposer de données afin de mieux caractériser l'impact. Ce processus permet de localiser de façon automatisée les traces d'incendies et délimiter leurs contours. De fait, l'automatisation des traitements induit une part d'incertitude qu'il est nécessaire de résoudre. Ce stage est rattaché à la démarche de qualification des détections au travers de la mise en place d'un protocole de contrôle.

Le retour d'expérience du contrôle des données a justifié de présenter des étapes ordonnées de manière cohérente, bien que la succession présentée dans ce rapport ne soit pas strictement fidèle à celle qui a été réellement menée. À noter que le premier bilan de l'impact environnemental des incendies en Nouvelle-Calédonie a été réalisé en s'appuyant sur les données issues du protocole de contrôle.

Allant plus loin que la détection d'anomalie thermique, ce travail représente la première quantification des incendies issus d'images hautes résolution sur le territoire calédonien. Le nombre d'incendie et la superficie partie en fumée alimentent des débats annuels entre les acteurs de l'environnement. Les chiffres sont grandement attendus par les gestionnaires du territoire, l'atténuation ou la maximisation ayant longtemps été permise par le manque d'études.

La faible quantité des données disponibles pour valider les surfaces brûlées mais également pour identifier les aberrations représentait un réel challenge. Des étapes de contrôle ont ainsi été imaginées, en s'appuyant sur les informations apportées par la dynamique intrinsèque du territoire.

Le protocole de qualification de la donnée a d'abord cherché à éliminer les détections aberrantes. Les données du mode d'occupation des sols ont été utilisées pour déterminer les usages jugés incompatibles avec l'éclosion d'incendie. Puis les surfaces brûlées situées à proximité des zones maritimes ont été vérifiées. Enfin, les aberrations trouvées sur les sols ferrallitiques et les cuirasses qui leur sont associées, ont confirmé la confusion des capteurs face à la réponse spectrale de ces sols.

La validation c'est quant à elle appuyée sur le croisement avec des sources de données sur les incendies délivrées par des acteurs calédoniens. La mise en place de règles a permis d'apporter des contraintes lors de la validation et ainsi d'augmenter le degré de qualification.

Le fonctionnement même de la chaîne de traitement induit une détection constante de tous les pixels qui portent la signature spectrale des incendies, de fait beaucoup de surfaces brûlées se superposent. Ainsi, la prise en compte du type de substrat a été primordiale pour accorder du crédit à des reliquats de traces d'incendies qui de prime abord pouvaient sembler aberrants.

En effet, le type de substrat possède une grande influence sur la reprise de la végétation et ainsi sur la persistance du signal d'incendie. Une étude statistique sur un échantillon de surfaces brûlées a été menée afin de quantifier le temps de persistance de la détection par les satellites Sentinel sur chaque type de substrat d'intérêt. Une classification a ainsi été imaginée pour que des critères spatiaux et temporels puissent encadrer la validation des surfaces brûlées.

L'étude de la persistance du signal des traces d'incendies sur les différents types de substrats n'a pour l'heure pas été menée à grande échelle sur le territoire calédonien. Seule une estimation par le biais d'une poignée d'incendies avait été réalisée. L'étude statistique a ainsi permis de caractériser les durées de persistance du signal, s'étendant de 3 à 5 mois sur le substrat volcano-sédimentaire et de 6 à 9 mois sur l'ultramafique.

Les détections issues de la chaîne de traitement des surfaces brûlées représentent le premier jeu de données s'attachant à quantifier spatialement et temporellement les incendies sur le territoire calédonien. De même, le travail d'identification des aberrations a permis de définir les principales sources d'erreur récurrentes. Ainsi, le protocole de contrôle établi et la localisation des aberrations récurrentes, serviront de base à la vérification des prochaines surfaces brûlées. En effet, ce travail a pour vocation d'être reconduit annuellement afin d'inscrire la caractérisation des incendies de manière pérenne dans le suivi des impacts liés aux pressions environnementales.

De plus, disposant d'une base de données dont la qualité a été vérifiée, l'expertise a été poussée afin d'essayer de se rapprocher de l'événement incendie. En effet, les besoins statistiques liés à l'élaboration du bilan des impacts, nécessitait de pouvoir quantifier les incendies en termes de surface réellement brûlée. La démarche d'agrégation spatio-temporelle étant intervenue au moment de clôturer le contrôle des données, des premiers tests ont été réalisés et se sont avérés prometteurs. L'équilibrage des paramètres pour caractériser au mieux les incendies était source de satisfaction face à la pertinence des résultats issues de 6 mois de travail.

4.2. Conclusion personnelle

L'autonomie et la confiance qui m'ont été accordées durant ces 6 mois de stage m'ont poussées à chercher des axes de réflexion novateurs. La particularité de travailler dans un pays où les données sont manquantes diverge des « facilités » d'accès auxquelles le territoire métropolitain nous familiarise. Seules des informations hétérogènes, parfois incomplètes et souvent imprécises existent, ajouté à la possibilité qu'elles ne soient pas accessibles. Indéniablement, il était nécessaire que j'établisse des règles de validation s'affranchissant des limites d'accès à l'information. Dès lors, la réflexion n'a été que plus intense face à des problématiques pour lesquelles les éléments de réponses n'étaient pas disponibles. La mise en place du protocole de contrôle repose en grande partie sur l'introduction de critères spatio-temporels de validation, qui permettent d'aller au-delà de la simple validation par intersection, et ainsi de la dépendance aux données externes.

Bien loin de blâmer la Nouvelle-Calédonie, je félicite au contraire les initiatives nationales engagées pour dynamiser la collecte des informations. La structure dans laquelle j'ai eu la chance d'effectuer mon stage considère que le partage et la capitalisation des informations sont nécessaires afin que chacun puisse mener à bien des études qui conjointement permettront de rendre compte des dynamiques environnementales du territoire. Diffuser des données ne devrait pas être envisagé comme un enjeu politique mais plutôt comme un outil puissant d'intellectualisation ouvrant de nouveaux champs d'action. L'OEIL en rendant libre d'accès chacune des données qu'il produit, permettra, je l'espère, d'insuffler une dynamique globale de mutualisation des savoirs.

Consciente du fort impact que représentent les incendies sur le territoire calédonien, je suis heureuse d'avoir pu participer à l'élan novateur de caractérisation de cet aléa. Le fruit de mon travail au cours de ses 6 mois de stage est perfectible, néanmoins il représente une avancée des connaissances sur les incendies. Le début du chemin étant tracé, je compte sur l'OEIL, pour parcourir avec perfectionnement

les possibilités immenses offertes par la chaîne de traitement et plus généralement par les outils de la télédétection.

Au-delà du développement de mes compétences en matière de SIG, cette expérience m'aura convaincu de l'importance de notre travail pour répondre aux problématiques à grande échelle. Le métier de géomaticien par la diversité qui l'anime, offre des possibilités immenses pour appréhender et analyser les dynamiques du monde qui nous entoure. La compréhension des phénomènes naturels étant chère à mon parcours, cette expérience m'aura permis d'accéder au type de métier auquel j'aspire depuis toujours.

4.3. Perspectives d'évolution

Le travail réalisé au cours de ces 6 mois de stage a permis de travailler sur la véracité des détections fournies par les satellites Sentinel. Avec une validation de 90 % des surfaces brûlées, nous sommes en mesure d'affirmer que la chaîne de traitement est efficace. Le temps associé à la mise en place du protocole de contrôle des données s'est avéré très réduit face à l'ampleur des possibilités de traitements. Quelques axes d'approfondissement des traitements ont été identifiés, d'autres relatant les champs ouverts par la diffusion de ces données.

- *Pousser les possibilités offertes par l'agrégation spatio-temporelle :*

Possédant une base de données dont l'entièreté des surfaces brûlées ont été vérifiées, et face aux résultats prometteurs obtenus par l'agrégation spatio-temporelle, il serait intéressant d'explorer les possibilités permises par la fusion. En effet, la réunion des surfaces brûlées est encadrée par des règles :

- Si intersection : la différence de jour entre les surfaces incendiées ne doit pas dépasser la limite imposée par la classe « certaine » de chaque type de substrat
- Pas d'intersection : la distance entre les surfaces brûlées ne doit pas dépasser 300 mètres et la différence de jours ne doit pas être supérieure à 15

Ces critères permettent de sécuriser les regroupements de polygones. Ainsi, après avoir réalisé les étapes de détection des aberrations, et de croisement avec les données externes sur les incendies, il serait intéressant de mener l'étape de fusion sans photo-interprétation au préalable. Le contrôle visuel pourrait ainsi être effectué uniquement sur les résultats de la fusion. Cette configuration permettrait de disposer de surfaces brûlées déjà agrégées et ainsi de réduire considérablement le temps associé à la vérification par photo-interprétation.

- *Préciser les durées de persistance de la signature spectrale des traces d'incendies*

La prise en compte du type de substrat représente une part importante du processus de contrôle des surfaces brûlées. Les règles de validations reposent toutes sur les percentiles qui découlent de l'étude statistique établi. Ainsi, il serait intéressant d'augmenter la taille de l'échantillon et de le stratifier par type de végétation. En effet, le type de couvert végétal a un impact sur le processus de revégétalisation et ainsi sur la persistance du signal. La prise en compte de ce paramètre permettrait d'affiner les seuils de nombre de jours.

Il pourrait également être intéressant de réaliser une modélisation de la possibilité de persistance du signal sur le territoire calédonien. La végétation, le degré de pente du terrain, l'altitude, la pluviométrie, la climatologie ou encore la biogéographie sont des facteurs qui pourraient être intégrés à la modélisation.

- *Agir pour la prévention du risque de feux de forêts*

Grâce à la localisation des surfaces brûlées sur le territoire ainsi qu'à leur quantification surfacique et temporelle, des possibilités s'ouvrent pour la caractérisation du risque de feux de forêts sur le territoire calédonien. L'occurrence des incendies pourrait par exemple être calculée grâce à une étude par pixel où chaque passage d'incendies sur le pixel serait comptabilisé afin d'établir une cartographie d'occurrence des incendies. Ou encore, l'étude de la superposition des surfaces brûlées obtenues après l'agrégation spatio-temporelle pourrait permettre de modéliser le risque d'éclosion d'incendies (modèle probabiliste). Pour aller plus loin, des poids pourraient être accordés aux facteurs environnementaux qui influent sur les incendies comme le type de végétation, la topographie, les données climatiques comme la pluviométrie, mais aussi l'activité humaine (modèle semi-probabiliste).

Les propositions faites ne représentent que deux exemples parmi la multitude de calcul et de modélisation permises grâce aux données de surfaces brûlées issues de la chaîne de traitement des détections des satellites Sentinel de l'OEIL.

Au-delà de la caractérisation de l'aléa incendie, ces surfaces brûlées pourront également servir à la gestion du risque de feux de forêt à l'échelle du territoire en représentant des données de références de document de prévention des risques comme les Plan de massif de Protection de la Forêt contre le Feu (PPFF) ou encore de document de gestion de crise comme les Plan Communaux de Sauvegarde.

Références

Webographie :

Site du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. *En un coup d'oeil*. [En ligne]. [Page consultée le 10/08/2018]. Disponibilité et accès : <https://gouv.nc/gouvernement-et-institutions/en-un-coup-doeil>

Site de l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie. *Ses activités*. [En ligne]. [Page consultée le 10/08/2018]. Disponibilité et accès : <http://www.oel.nc/fr/landing-page/l-oel>

Site de Kalideos Alsace. *Tuilage Sentinel-2*. [En ligne]. [Page consultée le 13/08/2018]. Disponibilité et accès : <https://alsace.kalideos.fr/drupal/fr/content/tuilage-sentinel-2>

Site de l'European Space Agency. *Sentinel-2 Operations*. [En ligne]. [Page consultée le 13/08/2018]. Disponibilité et accès : https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Sentinel-2_operations

Site de la National Aeronautics and Space Administration. *Fire Information for resource Management System (FIRMS)*. [En ligne]. [Page consultée le 13/08/2018]. Disponibilité et accès : <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>

Rapport :

Begni Gérard, Escafadal Richard, Fontannaz Delphine, Hong-Nga Nguyen Anne-Thérèse, Bennouna Taoufiq (collab.), Cornet Antoine (collab.), Delaitre Eric (collab.), Mainguet Monique (collab.), Toutain Bernard (collab.). *La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification*. Les dossiers thématiques : CSFD, Numéro 2. [En ligne]. Montpellier : Agropolis international, 2005. 48 p. [Page consultée le 10/08/2018]. Disponibilité et accès : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-04/010037011.pdf

Capo Sylvain, Jaen Arnaud. *Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées*. Nouméa, TELESPIAZIO a Leonardo and THALES company, INSIGHT, Imagerie et Geo-Solutions by LECUBE. Dernière modification : 20/03/2018. 38 p.

K. Rolland, A. Crépin, C. Kenner, P. Afro. *Production de données d'occupation du sol de 2010 à 2014 en Province Sud – Rapport de production*. SIRS. [En ligne]. Nouméa : OEIL, 2016. 93p. [Page consultée le 10/04/2018]. Disponibilité et accès : <http://www.oel.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/27689>

Maura Jonathan, Andréoli Rémi, Lille Didier, Andreoli Rémi. *Étude de faisabilité pour la mise en place d'un suivi de l'impact environnemental des feux - Lot 3 : Protocole de suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux*. Bluecham SAS. [En ligne]. Nouméa : OEIL, 2014. 82p. [Page consultée le 22/03/2018]. Disponibilité et accès : <http://www.oel.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/9616>

Yann-Eric Boyeau. *Analyse spatiale de l'impact des feux par type de milieux naturels en Province Sud*. ARBORESCENCE. [En ligne] Nouméa : DENV, 2005. 47p. [Page consultée le 22/03/2018]. Disponibilité et accès : <http://www.oel.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/213>

Classification de l'occupation du sol de la Nouvelle-Calédonie par approche objet V1.0-2008, DTSL. [En ligne]. Nouméa : DTSL, 2009, 8p. [Page consultée le 10/04/2018] Disponibilité et accès : <http://sig-public.gouv.nc/Notice-Occupationdusol2008-SPOT5-approcheobjet.pdf>

Table des Figures

Figure 1 : Carte de localisation de la Nouvelle Calédonie Sources de données : thematicmapping.org, Gouvernement NC	2
Figure 2 : Visualisation de la séparation du territoire en trois Provinces Sources des données : OEIL, Gouvernement NC	3
Figure 3 : Emprise des dalles de Sentinel 2 nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie Sources de données : Site internet Alsace Kalideos. Fond de carte : Stamen's Watercolor tileset	7
Figure 4 : Emprise des dalles de Landsat 8 nécessaires pour couvrir l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie Sources de données : OEIL. Fond de carte : Stamen's Watercolor tileset.....	8
Figure 5 : Emprise spatiale des surfaces brûlées issues des satellites Sentinel 2 pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018. [Un contour d'une épaisseur 1 a été appliqué afin que la visibilité des polygones soit optimisée]. Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	9
Figure 6 : Emprise spatiale des surfaces brûlées issues du satellite Landsat 8 pour la période allant du 13 mai 2013 au 31 mars 2018. [Un contour d'une épaisseur 1 a été appliqué afin que la visibilité des polygones soit optimisée]. Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	10
Figure 7 : Cartographie des surfaces incendiées détectées par le capteur MODIS Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset	11
Figure 8 : Cartographie des surfaces incendiées détectées par le capteur VIIRS Source de données : OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	12
Figure 9 : Cartographie des levés aéroportés de la DSCGR entre novembre 2014 et mars 2018 Source de données : DSCGR. Fond : Stamen's Watercolor tileset	13
Figure 10 : Cartographie des incendies relevés par le WWF entre 2015 et 2017 sur le secteur de Poya Sources de données : WWF, Gouvernement NC. Fond : Stamen's Watercolor tileset	13
Figure 11 : Schéma d'intention des étapes réalisées pour le contrôle des données des satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie [L'ordre présenté n'est pas obligatoirement celui qui a été suivi de manière chronologique]	15
Figure 12 : Aberrations de Landsat 8 liées à la présence de nuage à proximité des zones marines [1 : Ouvéa, 2 : Thio]. Source de données : OEIL. Fond : images de gauche : imagerie annuelle du Géorep, images de droite : Sentinel Hub Playground (Color Infrared)	17
Figure 13 : Taux de couverture nuageuse annuelle moyenne entre 2000 et 2014 en Nouvelle-Calédonie Source des données : earthenv. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	18
Figure 14 : Phases de détection des doublons	19
Figure 15 : Représentation d'aberrations liées à l'occupation du sol sur la piste d'atterrissage de l'aéroport de Nouméa La Tontouta pour les satellites Sentinel. Sources des données : OEIL, Gouvernement de NC. Fond : Gauche : imagerie annuelle du Géorep, Droite : MOS composite OEIL	21
Figure 16 : Exemples de sol cuirassé observé lors d'une sortie de terrain le 2 août 2018 dans les alentours de Yaté. Crédit photographie : OEIL	23
Figure 17 : Représentation de l'emprise spatiale des sols cuirassés Source des données : DIMENC, OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	23
Figure 18 : Représentation de l'emprise spatiale des types de substrat sur le territoire calédonien Source des données : Classification principale des données géologiques au 1/50 000 de la DIMENC de Brice Sevin, OEIL. Fond : Stamen's Watercolor tileset.....	25
Figure 19 : Représentation de l'évolution de la persistance de la trace de feu détectée par Sentinel le 17 août 2017 sur substrat Volcano-Sédimentaire Source de données : OEIL. Fond : 1 : Image annuelle Géorep, de 2 à 5 : Sentinel Hub Playground (Color Infrared)	27
Figure 20 : Box plot résultant de l'étude du nombre de jours de persistance du signal de la trace d'incendie en fonction du type de substrat. [La ligne centrale de la boîte représentant la médiane, ces extrémités le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} quartile. La croix correspond à la valeur moyenne]	28
Figure 21 : Schéma de la classification des seuils de certitude en fonction du nombre de jours de différence et du substrat	29
Figure 22 : Réaction de l'outil face aux différents cas de configuration	31
Figure 23 : Représentation des grandes étapes du contrôle visuel par photo-interprétation Source de données : OEIL. Fond : 1 et 3 : Sentinel Hub Playground (Color Infrared), 2 : Image annuelle Géorep	32
Figure 24 : Exemple d'un résultat de la phase de fusion pour des surfaces brûlées de Sentinel Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset	41

Figure 25 : Exemple d'un résultat de la phase de fusion avec comme critères 5 jours et 300 mètres de distance, pour des surfaces brûlées de Sentinel Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset. 42

Figure 26 : Comparaison des résultats des phases de fusion pour des surfaces brûlées de Sentinel correspondant à deux incendies à Koumac Sources de données : OEIL, DSCGR, Fond : Stamen's Watercolor tileset, Sentinel Hub Playground (Color Infrared)..... 43

Table des Tableaux

Tableau 1 : Description des bandes spectrales du capteur MSI de Sentinel 2 Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées. Site internet de l'ESA.....	6
Tableau 2 : Description des bandes spectrales du capteur OLI de Landsat 8 Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées.....	7
Tableau 3 : Logique de fusion des classifieurs Sources d'informations : Rapport méthodologique Intermédiaire : Chaîne de traitement, détection de surfaces brûlées.....	8
Tableau 4 : Répartition des données par année pour Sentinel 2. Source d'information : OEIL	10
Tableau 5 : Répartition des données par année pour Landsat 8. Source d'information : OEIL.....	10
Tableau 6 : Résultats chiffrés des étapes de détections des doublons. Source d'information : OEIL.....	20
Tableau 7 : Percentiles pour les différents types de substrats. Source d'information : OEIL.....	29
Tableau 8 : Résultats des croisements effectués pour le contrôle des surfaces brûlées des données des satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie Source d'information : OEIL	34
Tableau 9 : Résultats de la classification finale et seuils de certitude associés aux surfaces brûlées détectées par les satellites Sentinel, pour la période allant du 13 novembre 2015 au 31 mars 2018 sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Source d'information : OEIL.....	35
Tableau 10 : Résultats des tests de fusion réalisés sur les données de Sentinel. Source d'information : OEIL.....	43

Tables des Matières

REMERCIEMENTS	1
RESUME	2
TABLE DES ABREVIATIONS	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION	1
1.PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE	2
1.1. LE CADRE DU STAGE	2
1.1.1. LE TERRITOIRE D'ACCUEIL	2
1.1.2. LA STRUCTURE D'ACCUEIL	3
1.1.3. L'ORGANISATION FONCTIONNELLE DE L'OEIL	4
1.2. CONTEXTUALISATION	4
1.3. LES OBJECTIFS DU STAGE	4
2.ZONES D'ETUDES, DONNEES ET METHODOLOGIE	5
2.1. LA ZONE D'ETUDE	5
2.2. DESCRIPTION DES DONNEES RELATIVES A L'ETUDE	5
2.2.1. LA CHAINE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES	5
2.2.1.1. Les images utilisées	5
2.2.1.1.1. Les images des satellites Sentinel 2	6
2.2.1.1.2. Les images du satellite Landsat 8	7
2.2.1.2. Principe de la méthode	8
2.2.2. LES DONNEES UTILISEES	9
2.2.2.1. Les données vectorielles en sortie de chaîne	9
2.2.2.2. Les données exogènes sur les incendies	10
2.2.2.2.1. Les données satellites	10
2.2.2.2.1.1. Les surfaces incendiées issues de MODIS	11
2.2.2.2.1.2. Les surfaces incendiées issues du VIIRS	12
2.2.2.2.2. Données acteurs	12
2.2.2.2.2.1. Les levés aéroportés de la Direction de la Sécurité Civile et de la gestion des Risques	12
2.2.2.2.2.2. Les incendies répertoriés par le World Wildlife Fund	13
2.3. LE CONTROLE DES SURFACES BRULEES POTENTIELLES	14
2.3.1. LA SUCCESSION PREFERENTIELLE DES ETAPES DE CONTROLE	14
2.3.2. CONTROLE DE L'ASPECT SEMANTIQUE	15
2.3.3. L'IDENTIFICATION DES ABERRATIONS	16

2.3.3.1.	Le contrôle visuel de la cohérence des surfaces brûlées	16
2.3.3.2.	La détection des doublons	19
2.3.3.3.	Le croisement avec les classes considérées comme aberrantes du Mode d'Occupation du sol	20
2.3.3.4.	La vérification des surfaces brûlées situées au-delà du trait de côte	22
2.3.3.5.	Le croisement informatif avec la couche des sols de type cuirasse	23
2.3.4.	LA VALIDATION PAR LE BIAIS DE DONNEES COMPLEMENTAIRES SUR LES INCENDIES	24
2.3.4.1.	Prérequis nécessaires	24
2.3.4.2.	La prise en compte de la persistance du signal	25
2.3.4.2.1.	L'étude statistique sur un échantillon de surfaces brûlées	27
2.3.4.2.2.	La classification s'appuyant sur la différence de jours en fonction du substrat	28
2.3.4.2.3.	L'étude de la superposition des surfaces brûlées entre elles	30
2.3.5.	LA VERIFICATION DES SURFACES BRULEES RESTANTES PAR PHOTO-INTERPRETATION	32

3.RESULTATS ET DISCUSSION34

3.1.	PRESENTATION DES RESULTATS	34
3.1.1.	PRESENTATION DU DEGRE DE CERTITUDE ASSOCIE AUX SURFACES BRULEES	34
3.2.	LES LIMITES ASSOCIEES AU PROTOCOLE DE CONTROLE DES DONNEES	35
3.2.1.	LES LIMITES LIEES AUX DONNEES UTILISEES POUR LES CROISEMENTS	35
3.2.1.1.	Les données externes utilisées pour la validation des surfaces brûlées	35
3.2.1.1.1.	Les limites liées à la précision des données	35
3.2.1.1.2.	Les limites générales de l'utilisation des données externes de validation	36
3.2.1.2.	Les données utilisées pour détecter les aberrations	36
3.2.1.2.1.	Le Mode d'Occupation du Sol	36
3.2.1.2.2.	Les secteurs de cuirasses	37
3.2.2.	LES LIMITES ASSOCIEES AUX CHOIX EFFECTUES EN INTERNE	37
3.2.2.1.	Les seuils de persistance se basant sur le nombre de jours de différence en fonction du substrat	37
3.2.2.2.	Les taux de recouvrement minimum	38
3.2.2.2.1.	Le choix d'appliquer un taux de recouvrement de 25%	38
3.2.2.2.2.	Le choix de ne pas appliquer de taux de recouvrement minimum	38
3.2.2.3.	Le choix des classes du Mode d'Occupation du Sol pour la détection des aberrations	39
3.2.3.	LES LIMITES LIEES AUX TAUX DE RECOUVREMENT NUAGEUX	39
3.2.3.1.	Problématique pour la détection des surfaces brûlées	39
3.2.3.2.	Problématique pour l'étude statistique de persistance du signal	39
3.2.4.	LES LIMITES GENERALES DU CONTROLE DES DONNEES	40
3.2.4.1.	L'automatisation du processus d'analyse des surfaces brûlées	40
3.2.4.2.	L'utilisation de la photo-interprétation	40
3.2.4.3.	La détection des aberrations	40
3.3.	S'APPROCHER DE L'EVENEMENT INCENDIE	41
3.3.1.	FUSION SPATIO-TEMPORELLE 1	41
3.3.2.	FUSION SPATIO-TEMPORELLE 2	42

4.BILAN ET PERSPECTIVES45

4.1.	CONCLUSION	45
-------------	-------------------	-----------

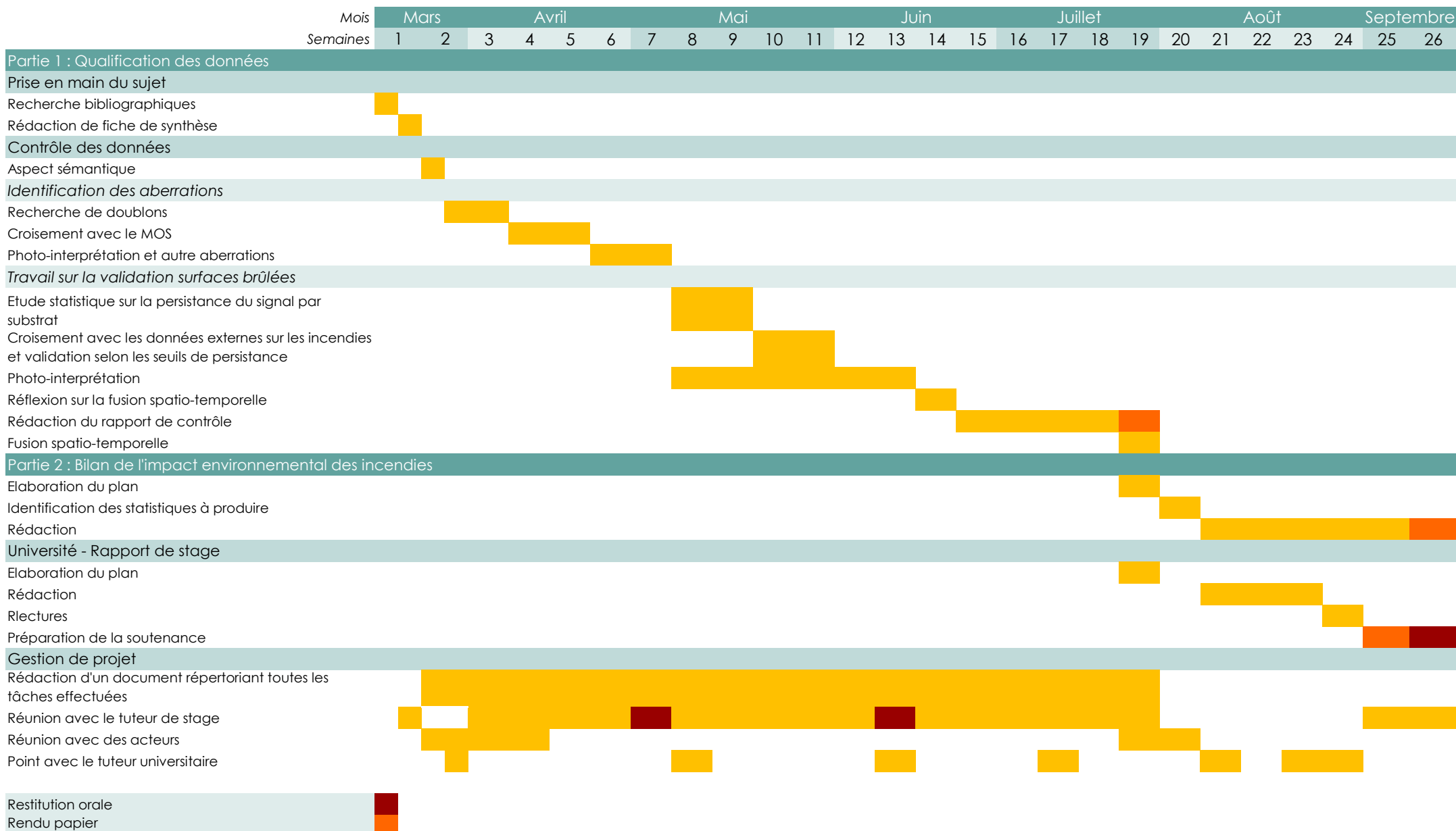
4.2. CONCLUSION PERSONNELLE	46
4.3. PERSPECTIVES D'EVOLUTION	47
<u>REFERENCES</u>	<u>49</u>
<u>TABLE DES FIGURES</u>	<u>50</u>
<u>TABLE DES TABLEAUX.....</u>	<u>51</u>
<u>TABLES DES MATIERES</u>	<u>52</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>55</u>

Annexes

- **Annexe 1** : Gestion de projet : Organigramme des tâches
- **Annexe 2** : Description des couches de la BDTopo de la Nouvelle-Calédonie croisées par le bureau d'études
- **Annexe 3** : Description des champs des couches vecteurs en sortie de la chaîne de traitement, et résultats obtenus pour le contrôle sémantique
- **Annexe 4** : Architecture du Model Builder de détection des doublons
- **Annexe 5** : Script python de compilation et interface de saisie des paramètres
- **Annexe 6** : Classes d'occupation du sol jugées aberrantes
- **Annexe 7** : Etude statistique de la persistance du signal de détection
- **Annexe 8** : Script VB de la classification selon les seuils de persistance en nombre de jours en fonction du substrat
- **Annexe 9** : Interface de saisie de l'outil de préparation à la fusion des surfaces brûlées
- **Annexe 10** : Description de la table attributaire de la classe d'entités finale des surfaces brûlées avant fusion
- **Annexe 11** : Schéma de traitement de l'agrégation spatio-temporelle

Annexe 1 :

Gestion de projet : Organigramme des tâches



Annexe 2 :

Description des couches de la BDTopo de la Nouvelle-Calédonie croisées par le bureau d'études

Couches de la BD Topo Croisées avec la chaîne de traitement

Nom du croisement dans les tables des couches Sentinel et Landsat	Couche de la BDTopo source	Champ	Définition	Résumé de la définition de la couche
BATIDUR	EDI_CONSTRUCTION_S	Type	Construction dure	Type d'édification surfacique
BATILEG	EDI_CONSTRUCTION_S	Type	Construction légère	Type d'édification surfacique
BCHENAL	HYM_LITTORAL_S	Type	Bord de chenal	Type d'éléments surfacique de bord de mer
PLAGE	HYM_LITTORAL_S	Type	Plage	Type d'éléments surfacique de bord de mer
BORDBASS	EDI_PLAN_EAU_ARTIF_S	Type	Bassin	Type de point d'eau artificiel surfacique
RECOLLI	EDI_PLAN_EAU_ARTIF_S	Type	Retenue collinaire	Type de point d'eau artificiel surfacique
BCOURDO	HYT_COURS_EAU_S	Type	Bord de cours d'eau	Type de cours d'eau surfacique
PCOURDO	HYT_COURS_EAU_S	Type	Plage du cours d'eau	Type de cours d'eau surfacique
BORDETAN	HYT_PLAN_EAU_NATUREL_S	Type	Etang	Type de surface recouverte d'eau
BORDLAC	HYT_PLAN_EAU_NATUREL_S	Type	Lac	Type de surface recouverte d'eau
BORDMAR	HYT_PLAN_EAU_NATUREL_S	Type	Marais	Type de surface recouverte d'eau
PISTAERO	EDI_AERODROME_S	Type	Piste d'aérodrome	Type d'infrastructures aéroportuaires
STATAV	EDI_AERODROME_S	Type	Stationnement des avions	Type d'infrastructures aéroportuaires
ROCHER	REL_ZONE_ROCHEUSE_S	Type	Zone rocheuse	Type de zone rocheuse

Annexe 3 :

Description des champs des couches vecteurs en sortie de la chaîne de traitement, et résultats obtenus pour le contrôle sémantique

Date : Date de l'image ayant servi à la détection de la zone brûlée
Nom : Nom de l'image ayant servi à la détection de la zone brûlée
Province : Province (Nord ou Sud) à laquelle appartient la détection
Commune : Commune dans laquelle se trouve la détection
Surface : Surface (en ha) de la détection
X : coordonnée X du centroïde de la détection
Y : coordonnée Y du centroïde de la détection
Cuirasse : indique le type de cuirasse (Lithologie) si la détection superpose un objet du masque de cuirasse
Cuira_area : pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque de cuirasse

Bdtopo : indique le type d'objet de la BDTopo si la détection superpose un objet du masque bdtopo

Bdtop_area : pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque bdtopo

Ocs : occupation du sol majoritaire de la détection.

Ocs_area : pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque d'occupation du sol. Dans le cas de l'utilisation du masque d'occupation du sol par défaut, cet attribut aura la valeur 100 % (ou 99% dû à des arrondis lors des calculs des surfaces d'intersection) car toutes données du MOS ont été conservées et qu'elles recouvrent entièrement toute la Nouvelle-Calédonie.

Prop : propriétaire de la donnée. Cet attribut a toujours la valeur OE

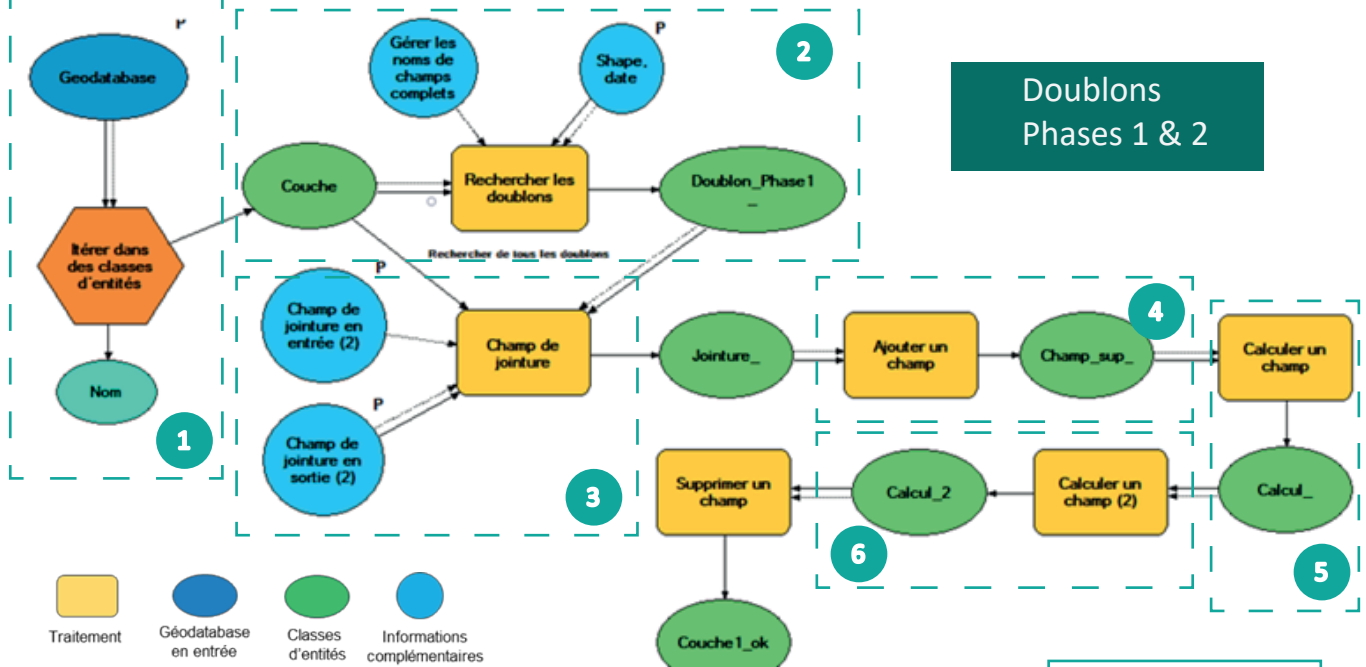
Couche	nb d'enregi	date	nom	province	commune	surface	x	y	cuirasse	cuira_area	bdtopo	bdtop_area	OCS	OCS_area	prop
Landsat_8_2013	774			1					728		758				
Landsat_8_2014	2434			2					2277		2321		2		
Landsat_8_2015	1723			11					1555		1663		2		
Landsat_8_2016	2549			5					2324		2441				
Landsat_8_2017	5945			18					5673		5748		1		
Landsat_8_S1_2018	224								221		212				
Sentinel_2_2015	1124								1073		1116				
Sentinel_2_2016	4193			5					3975		4076				
Sentinel_2_2017	20425			41					19731		20152		9953		
Sentinel_2_S1_2018	1287			3					1219		1260				

RAS
Manquante
Questionnement de la pertinence

Annexe 4 :

Architecture du Model Builder de détection des doublons

Doublons Phases 1 & 2

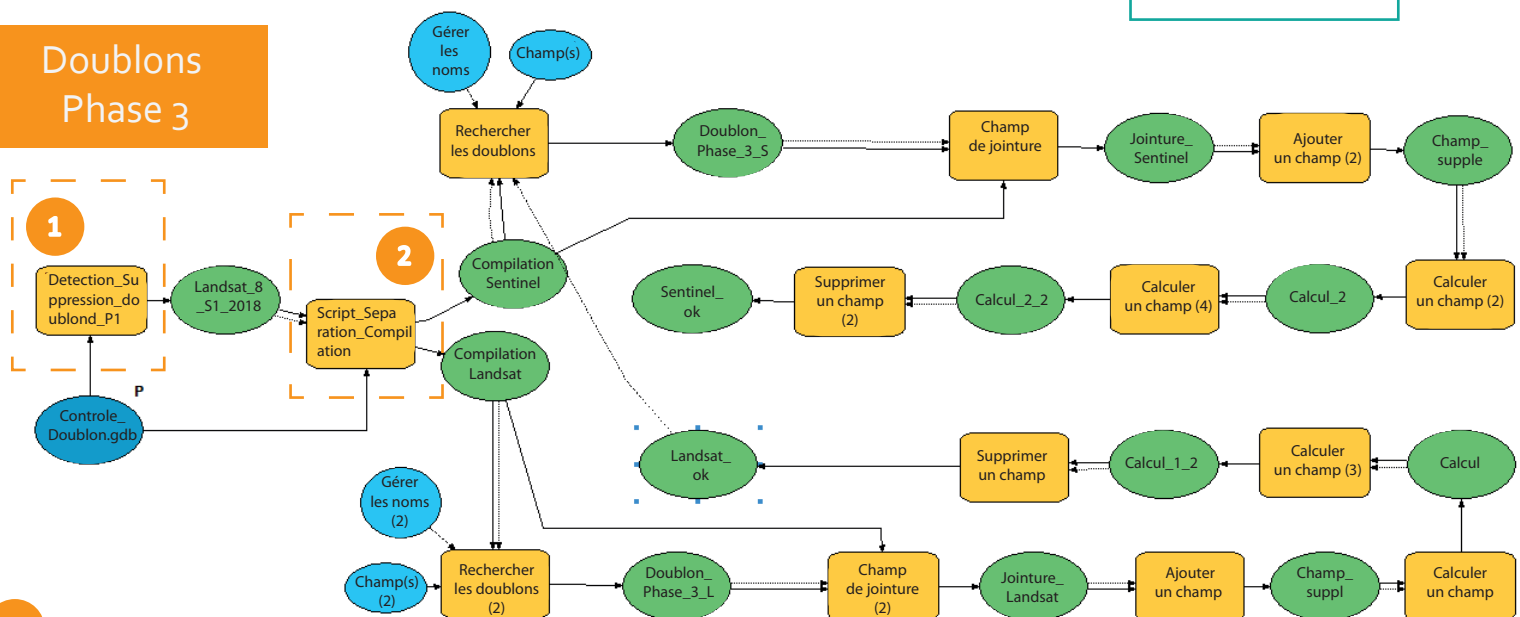


Bloc de données :
def UpdateField(value):
if value is None:
return 0
else:
return value
Expression :
UpdateField(!IN_FID!)

Bloc de données :
Dim Spe
If [IN_FID] > 0 Then
Spe = "Doublon"
else
Spe = "Unique"
End If
Expression : Spe

Les mêmes enchainements sont effectués pour détecter les doublons de la phase 2, en rajoutant le champ nom (correspond au nom de l'image satellite) afin de mettre en avant les doublons strictement identiques.
A la fin de ces deux phases, une étape de suppression des doublons est réalisée

Doublons Phase 3



Le reste du traitement est le même que celui qui a été expliqué pour les phases 1 et 2 de détection des doublons, sauf que c'est uniquement le champ shape qui est coché pour la détection des doublons, et qu'à la fin les doublons ne sont pas supprimés afin de pouvoir les vérifier par photo-interprétation

Annexe 5 :

Script python de compilation et interface de saisie des paramètres

Script python

```
import arcpy
BD = arcpy.GetParameterAsText(0)
# Espace de travail en entrée
arcpy.env.workspace = BD
ListC = arcpy.GetParameterAsText(1)
# Paramètre 1
Sentinel = arcpy.GetParameterAsText(2)

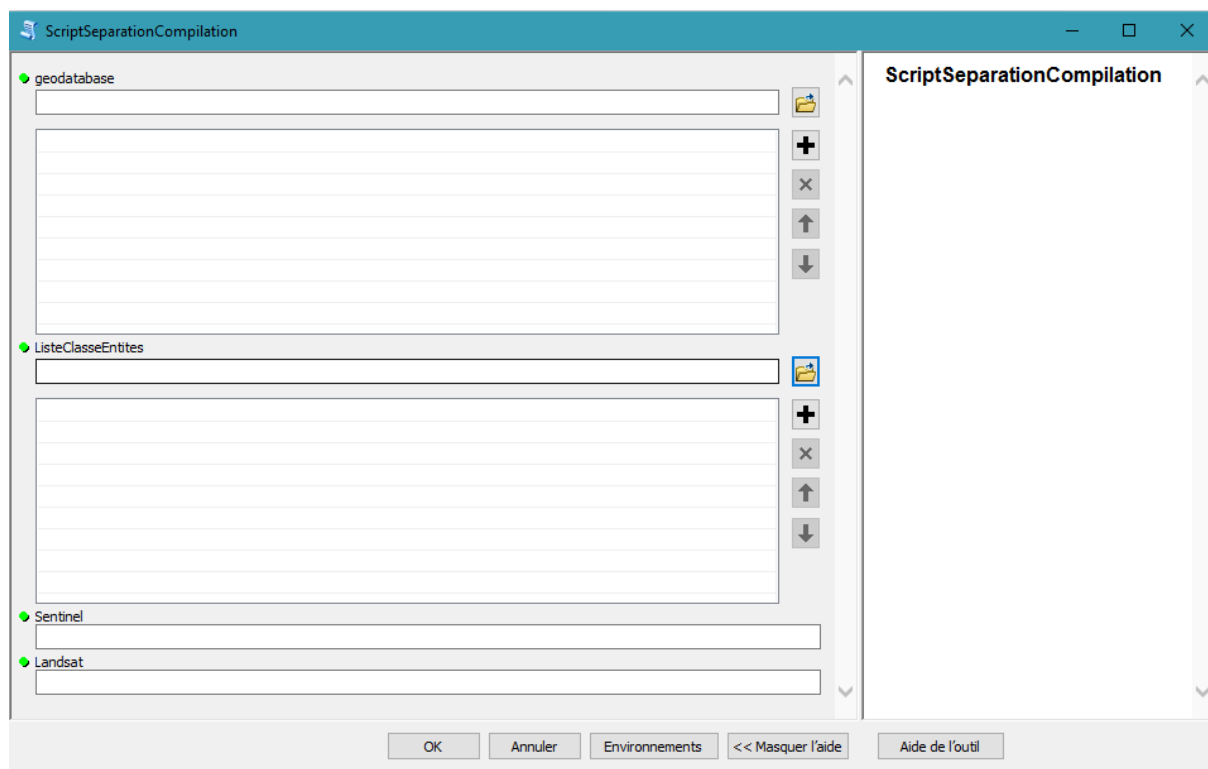
# Paramètre 2
Landsat = arcpy.GetParameterAsText(3)

# Récupération des classes d'entités pour chaque Satellite
LayerSentinel = arcpy.ListFeatureClasses("Sentinel*")
arcpy.AddMessage(LayerSentinel)
LayerLandsat = arcpy.ListFeatureClasses("Landsat*")
arcpy.AddMessage(LayerLandsat)

# Compilation des données pour chaque satellite
arcpy.Merge_management(LayerSentinel, Sentinel)
arcpy.Merge_management(LayerLandsat, Landsat)

# Définition des sorties
arcpy.SetParameter(4, BD + "/" + Sentinel)
arcpy.SetParameter(5, BD + "/" + Landsat)
```

Interface de saisie :



Annexe 6 :
Classes d'occupation du sol jugées aberrantes

Classes des MOS de 2008 et de 2014 considérées comme aberrantes :

Sont indiquées en bleu les classes du MOS de 2008 et en orange les classes du MOS de 2014. En texte barrées sont indiquées les classes qui après réflexion ont été exclues des classes considérées comme aberrantes.

- ~~◦ Décharges, chantiers, extractions de matériaux~~
- ~~◦ Décharges, chantiers, extractions de matériaux : hors mines~~
- Eau douce
- Eaux marine
- Eau continentale
- Eau marine
- Eau maritime
- ~~◦ Habité isolé~~
- Mangrove dense
- Mangrove clairsemée
- Marais maritimes
- Mines, décharges minières, infrastructures et chantiers miniers
- ~~◦ Nuage~~
- ~~◦ Zones sombres~~
- Plage, dune, sable
- Roches et sols nus
- Réseaux de communication
- Sol nu au substrat ultramafique
- Sol nu sur substrat volcano-sédimentaire
- Tanne
- Tissu urbain continu
- Tissu urbain discontinu
- ~~◦ Zones d'habitations~~
- Zones humides intérieures
- Zones industrielles ou commerciales et équipements

Annexe 7 :

Etude statistique de la persistance du signal de détection

En vert : Substrat Volcano-Sédimentaire, en Rouge : Substrat Ultramafique

Feu étudié	Localité	Date de la DSCGR ou du VIIRS	Date de début du signal Sentinel	Date de fin du signal Sentinel	Durée de persistance du signal	Différence de détection	Durée réelle de la persistance du signal
VS 1	PAITA	28/09/2017	29/09/2017	03/11/2017	35	1	36
VS 2	BOULOUPARIS	03/11/2016	10/11/2016	19/01/2017	70	7	77
VS 3	BOURAIL	05/09/2017	11/09/2017	31/10/2017	50	6	56
VS 4	Houailou Coula	17/09/2016	21/09/2016	21/10/2016	30	4	34
VS 5	PAITA	17/10/2017	21/10/2016	09/01/2017	80	4	84
VS 6	Puen	02/10/2017	06/10/2017	09/01/2018	95	4	99
VS 7	BOURAIL	13/12/2015	26/12/2015	13/07/2016	200	13	213
VS 8	La Foa	04/09/2017	06/09/2017	05/12/2017	90	2	92
VS 9_2	VOH	28/07/2017	31/07/2017	23/12/2017	145	3	148
VS 10	TOUTOUTA	14/09/2017	21/09/2017	09/01/2018	110	7	117
VS 11	POYA	14/09/2017	26/09/2017	15/11/2017	50	12	62
VS 12	CANALA	11/08/2017	17/08/2017	04/01/2018	140	6	146
VS 13	KONE	05/10/2017	04/10/2017	13/11/2017	40	-1	39
VS 14_2	TOUHO	04/09/2017	06/09/2017	23/12/2017	108	2	110
VS 15	POINDIMIE	20/08/2017	27/08/2017	10/11/2017	75	7	82
VS 16	MOINDOU	01/11/2015	16/11/2015	04/02/2016	80	15	95
VS 17	KONE	13/09/2017	14/09/2017	13/11/2017	60	1	61
VS 18	VOH	21/07/2017	21/07/2017	03/11/2017	105	0	105
VS 19	MOINDOU	29/09/2017	01/10/2017	31/10/2017	30	2	32
VS 20	PAITA	24/12/2017	25/12/2017	09/01/2017	15	1	16
VS 21	POYA	Pas de comparatif	08/07/2017	01/10/2017	85	5	90
VS 22	POYA	Pas de comparatif	01/10/2017	05/11/2017	35	5	40
VS 23	POYA	Pas de comparatif	02/08/2017	01/10/2017	60	5	65
VS 24	POYA	Pas de comparatif	12/08/2017	31/10/2017	80	5	85
VS 25	POUEMBOUT	Pas de comparatif	26/09/2017	31/10/2017	35	5	40
VS 26	PONERIHOUEN	Pas de comparatif	28/06/2017	02/08/2017	35	5	40
VS 27	POINDIMIE	Pas de comparatif	02/08/2017	26/09/2017	55	5	60
VS 28	TOUHO	Pas de comparatif	01/09/2017	05/11/2017	65	5	70
VS 29	KONE	Pas de comparatif	14/09/2016	23/11/2016	70	5	75

VS 30	KAALA GOMEN	Pas de comparatif	14/09/2017	24/10/2017	40		
UM 1	BOURAIL	10/08/2017	17/08/2017	31/10/2017	75	5	45
UM 2	PAITA	04/11/2017	21/10/2017	29/05/2018	220	7	82
						17	237
UM 3	MONT DORE	14/11/2015	26/11/2015	09/01/2018	75	12	87
UM 4	BELEP	19/08/2016	25/08/2016	13/12/2016	110	6	116
UM 5	PLAGE DE FRANCO	16/09/2017	19/09/2017	05/03/2018	167	3	170
UM 6	CANALA	12/09/2017	21/09/2017	04/04/2018	195	9	204
UM 7	VOH	30/09/2017	04/10/2017	07/01/2018	95	4	99
UM 8	VOH et KOUMAC	15/08/2017	15/08/2017	12/01/2018	150	0	150
UM 9	MONT DORE	01/01/2018	30/12/2017	09/05/2018	130	3	133
UM 10	THIO	25/09/2017	26/09/2017	05/12/2017	70	1	71
UM 11	POUEMBOUT	30/09/2017	01/10/2017	05/03/2018	155	1	156
UM 12	POUEMBOUT	21/06/2017	21/06/2017	18/02/2018	242	0	242
UM 13	POUEMBOUT	14/11/2015	16/11/2015	10/04/2017	511	2	513
UM 14_2	KOUMAC	23/08/2017	14/09/2017	13/11/2017	60	22	82
UM 15	OUEGOA	04/09/2016	04/09/2016	19/10/2017	410	0	410
UM 16	POUEBO	27/06/2017	01/07/2017	03/11/2017	125	4	129
UM 17	KOUMAC	21/07/2017	21/07/2017	11/02/2018	205	0	205
UM 18	KOUMAC	09/09/2016	14/09/2016	03/11/2016	50	5	55
UM 19	KAALA GOMEN	07/11/2015	19/11/2015	08/01/2016	50	12	62
UM 20	KAALA GOMEN	03/10/2017	04/10/2017	12/01/2018	100	1	101
UM 21	YATE	Pas de comparatif	17/11/2017	18/02/2018	93	5	98
UM 22	THIO	Pas de comparatif	21/09/2017	09/01/2018	110	5	115
UM 23	CANALA	Pas de comparatif	11/10/2016	30/12/2016	80	5	85
UM 24	KOUAOUA	Pas de comparatif	26/10/2017	05/12/2017	40	5	45
UM 25	KOUAOUA	Pas de comparatif	26/10/2017	09/01/2018	75	5	80
UM 26	KOUAOUA	Pas de comparatif	22/08/2017	31/10/2017	70	5	75
UM 27_2	HOUAILOU	Pas de comparatif	06/10/2017	20/12/2017	75	5	80

UM 28	PONERIHOUEN	<i>Pas de comparatif</i>	01/09/2017	05/11/2017	65	5	70
UM 29	POUEMBOUT	<i>Pas de comparatif</i>	29/11/2015	22/05/2017	905	5	910
UM 30	POUEMBOUT	<i>Pas de comparatif</i>	06/10/2017	09/04/2018	185	5	190

Annexe 8 :

**Script VB de la classification selon les seuils de persistance
en nombre de jours en fonction du substrat**

```
Dim Certitude

If [Max_Classe_Geol] ="Volcano-Sédimentaire" And [Min_Diff_jour] > -3 And
[Min_Diff_jour] < 95 Then
    Certitude="VS : Certain"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Volcano-Sédimentaire" And [Min_Diff_jour] > 94
And [Min_Diff_jour] < 121 Then
    Certitude="VS : Probable"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Volcano-Sédimentaire" And [Min_Diff_jour] > 120
Then
    Certitude="VS : A vérifier autrement"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Ultramafique" And [Min_Diff_jour] > -3 And
[Min_Diff_jour] < 186 Then
    Certitude="UM : Certain"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Ultramafique" And [Min_Diff_jour] > 185 And
[Min_Diff_jour] < 260 Then
    Certitude="UM : Probable"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Ultramafique" And [Min_Diff_jour] > 259 Then
    Certitude="UM : A vérifier autrement"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Autre" And [Min_Diff_jour] > -3 And
[Min_Diff_jour] < 141 Then
    Certitude="ASub : Certain"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Autre" And [Min_Diff_jour] > 140 And
[Min_Diff_jour] < 190 Then
    Certitude="ASub : Probable"
ElseIf [Max_Classe_Geol] ="Autre" And [Min_Diff_jour] > 189 Then
    Certitude="ASub : A vérifier autrement"
ElseIf IsNull([Min_Diff_jour]) Then
    Certitude="Autre : A vérifier autrement"
End If
```

Annexe 9 :

Interface de saisie de l'outil de préparation à la fusion des surfaces brûlées

Interface de saisie de l'outil de préparation à la fusion

Préparation à la fusion des memes incendies

◆ Couche en entrée

◆ Champ des identifiants concatenes

◆ Champ du substrat (geologie)

◆ Champ du nombre de jours concaténés

◆ Champ de la classification restrictive

◆ Champ de date pour chaque surface brûlée

◆ Seuil substrat Ultramafique

◆ Seuil substrat Volcano-Sedimentaire

◆ Seuil substrat Autre

◆ Champ en sortie identifiant de fusion

◆ Champ en sortie de la date la plus ancienne

◆ Champ en sortie de la date la plus recente

◆ Champ en sortie de concatenation sur la classe restrictive

◆ Champ en sortie de la classification restrictive finale

Préparation à la fusion des memes incendies

Préparation à la fusion des surfaces brûlées correspondant à un meme incendie selon différents seuils temporels en fonction du substrat d'origine.

OK Annuler Environnements << Masquer l'aide Aide de l'outil

Annexe 10 :

Description de la table attributaire de la classe d'entités finale des surfaces brûlées avant fusion

Nom du champ	Type	Explication
OBJECTID *	Identifiant de l'objet	Identifiant unique du polygone implémenté par ArcGIS
Shape *	Géométrie	Type de géométrie du polygone
date	Texte	Date associée à l'image ayant servi à la détection de la zone brûlée
nom	Texte	Nom de l'image ayant servi à la détection de la zone brûlée
province	Texte	Nom de la Province à laquelle est rattachée le polygone
commune	Texte	Nom de la commune à laquelle est rattachée le polygone
surface	Réel double	Surface en hectare de la détection
x	Long	Coordonnée X du centroïde de la détection
y	Long	Coordonnée Y du centroïde de la détection
cuirasse	Texte	Type de cuirasse si la détection superpose un objet du masque de cuirasse
cuir_a_area	Long	Pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque de cuirasse
bdtopo	Texte	Type d'objet de la BDTopo si la détection superpose un objet du masque bdtopo
bdtop_area	Long	Pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque bdtopo
OCS	Texte	Occupation du sol majoritaire de la détection
OCS_area	Long	Pourcentage de recouvrement de la détection avec des éléments du masque d'occupation du sol
prop	Texte	Propriétaire de la donnée, cet attribut a toujours la valeur OEIL
Doublon_P1	Texte	Doublons de la phase 1
Doublon_P2	Texte	Doublons de la phase 2
Doublon_P3	Texte	Doublons de la phase 3
Commentaires_P3	Texte	Commentaire associé à la photo-interprétation des doublons de la phase 3
Intersect_2Sat	Texte	Intersection entre les surfaces brûlées de Sentinel et les surfaces brûlées de Landsat avec la méthode : Intersecter l'entité de la couche source
Contient_2Sat	Texte	Intersection entre les surfaces brûlées de Sentinel et les surfaces brûlées de Landsat avec la méthode : Contient l'entité de la couche source
date_ok	Date	Reformatage du champ date
Classe_Geol	Texte	Concaténation des classes géologiques
Pct_Geol	Texte	Concaténation des pourcentages associés aux classes géologiques
Max_Classe_Geol	Texte	Classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
Max_Pct_Geol	Flottant	Pourcentage associé à la classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
FID_VIIRS	Texte	Concaténation des identifiants VIIRS qui croisent les détections de Sentinel
Date_VIIRS	Texte	Concaténation des dates VIIRS qui croisent les détections de Sentinel
Difference_jour	Texte	Concaténation des différences de jours entre les polygones du VIIRS croisés et les détections de Sentinel
Min_Diff_jour	Long	Minimum de la différence de jour présente dans la concaténation des différences de jours avec le VIIRS
Classif_Contrôle_C	Texte	Résultat du croisement avec le VIIRS, se basant sur la classification en fonction du substrat et de la différence de jours entre les polygones s'intersectant
Classe_Mer_Oc	Texte	Résultat du croisement avec la classe d'entités des zones marines situées au-delà du trait de côte
Pct_Mer_Oc	Texte	Pourcentage associé au croisement avec la classe d'entités des zones marines situées au-delà du trait de côte
Contrôle_D	Texte	Résultat du contrôle visuel des surface brûlées dont le taux de recouvrement était supérieur à 25% avec les zones marines
Intersection_DSCGR	Texte	Information binaire sur le croisement ou non avec les levés aéroportés de la DSCGR
Diff_jour_DSCGR	Texte	Concaténation des différences de jours entre les levés aéroportés de la DSCGR croisés et les détections de Sentinel
Min_Diff_jour_DSCGR	Long	Minimum de la différence de jour présente dans la concaténation des différences de jours avec les levés aéroportés de la DSCGR
Classif_Contrôle_E1		Résultat du croisement avec les levés aéroportés de la DSCGR, se basant sur la classification en fonction du substrat et de la différence de jours entre les polygones s'intersectant
Lithologie_Cuirasses	Texte	Résultat de l'intersection avec la classe d'entités concernant les cuirasses et si croisement alors spécification du type de cuirasse

Pct_Lithologie_Cuirasses	Texte	Pourcentage associé au croisement avec la classe d'entités des cuirasses
Max_Lithologie_Cuirasses	Texte	Classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
Max_Pct_Lithologie_Cuirasses	Flottant	Pourcentage associé à la classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
Classif_Control_F	Texte	Résultat de la classification en fonction des deux types différents de cuirasses
Classement_PN	Texte	Résultat du croisement informatif avec les polygones de la Province Nord
Classif_Control_H	Texte	Résultat du contrôle visuel des 100 plus grosses surfaces brûlées
Classe_MOS	Texte	Concaténation des classes du MOS
Pct_Classe_MOS	Texte	Concaténation des pourcentages associés aux classes géologiques
Max_Classe_MOS	Texte	Classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
Max_Pct_Classe_MOS	Flottant	Pourcentage associé à la classe qui possède le taux de recouvrement le plus important parmi les valeurs présentes dans la concaténation
Classif_Control_I	Texte	Résultat d'une session de contrôle visuel
Control_FA	Texte	Résultat d'une deuxième session de contrôle visuel
Complement_CV	Texte	Résultat d'une troisième session de contrôle visuel
Feu_Persis	Texte	Surfaces brûlées correspondant à celles étudiées sans croisement avec le VIIRS ou la DSCGR pour l'étude statistique
Croisement_WWF	Texte	Résultat du croisement avec les incendies du WWF
Control_Visuel_FINAL	Texte	Classification réunissant tous les contrôles visuels effectués
Recapitulatif_Restrictif	Texte	Résultat de la classification établie pour réunir les résultats des précédentes phases de contrôle
Superposition_Sentinel_Sentinel	Texte	Concaténation des indentifiants des polygones Sentinel qui se superposent
Diff_jour_Sentinel	Texte	Concaténation des différences de jours entre les polygones Sentinel
Pct_Diff_jour_Sentinel	Texte	Concaténation des pourcentages associés aux différences de jours avec Sentinel
CV_fusion	Texte	Session de contrôle visuel lié à l'information apportée par la superposition des polygones (Frequency)
Id_Fusion_V2	Long	Identifiant de fusion résultant de l'utilisation de l'outil de préparation à la fusion
Classif_Restrictive_Concatene_Fusion_V2	Texte	Concatenation des types de classes de la classification restrictive (champ : Recapitulatif_Restrictif)
Classif_Restrictive_Finale_V2	Texte	Application de la règle de validation en fonction des superpositions
Classification_FINALE	Texte	Classification finale des surfaces brûlées par rapport à la dernière session de contrôle visuel réalisée dans le champs CV_fusion
FREQUENCY	Long	Nombre de superposition avec les autres polygones de Sentinel
Date_Min_Fusion	Date	Date minimum de la fusion
Date_Max_fusion	Date	Date maximum de la fusion
Shape_Length	Réel double	Périmètre de la surface brûlée en mètres implémenté par ArcGIS
Shape_Area	Réel double	Surface en m², implémentée par ArcGIS

Annexe 11 :

Schéma de traitement de l'agrégation spatio-temporelle

