



*Rapport final*

## **ETUDE DE FAISABILITE POUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX**

### **Lot 3 : PROTOCOLE DE SUIVI OPERATIONNEL DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX**

BluechamSAS  
Editeur : OEIL

Août 2013

**Observatoire de l'environnement**  
Province Sud • Nouvelle-Calédonie





## Sommaire

<b>Chapitre I - Résumé.....</b>	<b>8</b>
<b>Chapitre II - Présentation générale du projet .....</b>	<b>10</b>
II.1. Rappel de la lettre de commande .....	10
II.2. Rappel du lot 3 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux .....	11
II.2.1. Objectifs .....	11
II.2.2. Méthode .....	11
II.2.3. Livrables .....	12
II.3. Schéma synthétique du protocole opérationnel du suivi de l'impact environnemental des feux .....	12
II.3.1. Les besoins (rappel Lot 1) .....	12
II.3.2. Les indicateurs (rappel Lot 2) .....	14
II.3.3. Schéma synthétique du protocole opérationnel.....	14
<b>Chapitre III - Protocole opérationnel du suivi .....</b>	<b>16</b>
III.1. Analyse des éléments fonctionnels.....	16
III.1.1. Eléments opérationnels .....	16
III.1.2. Eléments à améliorer.....	16
III.1.3. Eléments à créer .....	17
III.2. Protocole d'acquisition de données .....	17
III.2.1. La télédétection des feux.....	18
III.2.1.a. Détecter, identifier et reconnaître les feux.....	18
III.2.1.b. Détection des points chauds .....	19
III.2.1.c. Délimitation de l'étendue des feux .....	23
III.2.1.d. Estimation indirecte de l'étendue des feux.....	28
III.2.1.e. Détection des zones brûlées par SAR.....	29
III.2.1.f. Dispositifs opérationnels et futurs de suivi des feux par satellites .....	30
III.2.1.g. Programmes d'accès aux données satellitaires pour le suivi des feux .....	38
III.2.2. Suivi participatif des feux actifs.....	46
III.2.2.a. Analyse de cas existants .....	46
III.2.2.b. Cas d'un déploiement en Nouvelle-Calédonie .....	49
III.2.2.c. Proposition d'un flux de travail.....	50
III.2.3. Synthèse et protocole d'acquisition des données pour le suivi de l'impact environnemental des feux.....	51
III.2.3.a. Structuration du suivi.....	51

III.2.3.b. Collecte des données .....	52
III.2.3.c. L'accès aux données satellitaires .....	53
III.2.3.d. Livrables .....	53
III.2.3.e. Calendrier des actions.....	53
III.2.4. Structuration des données de localisation des feux.....	55
III.2.5. Structuration des données complémentaires acquises par satellites.....	55
III.2.5.a. Données satellitaires.....	55
III.2.5.b. Surfaces brûlées.....	56
III.2.5.c. Typologie de la végétation .....	56
III.2.6. Consolidation du jeu de données de localisation des feux par croisement des données multi sources .....	57
III.3. Protocole de création d'indicateurs et de produits à valeur ajoutée .....	58
III.4. Moyens de diffusion et de valorisation des produits.....	59
<b>Chapitre IV - Plan de réalisation et chiffrage .....</b>	<b>60</b>
IV.1. Structuration du projet .....	60
IV.1.1. Lot 1 : Recensement de la localisation des feux .....	62
IV.1.2. Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi .....	62
IV.1.3. Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées .....	62
IV.1.4. Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation .....	63
IV.1.5. Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations .....	63
IV.1.6. Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux.....	63
IV.1.7. Lot 7 : Diffusion des données du suivi .....	64
IV.1.8. Lot 8 : Mise en place d'un outil informatique - appui du suivi participatif.....	64
IV.1.9. Lot 9 : Maintenance des systèmes automatiques.....	64
IV.2. Organisation .....	65
IV.2.1. Les acteurs .....	65
IV.2.2. Le rôle des acteurs .....	66
IV.2.2.a. Le comité de pilotage.....	66
IV.2.2.b. Le groupe des utilisateurs.....	66
IV.2.3. Les différentes phases .....	67
IV.2.3.a. La phase de test sur une zone pilote .....	67
IV.2.3.b. La phase de déploiement optimisée .....	69
IV.3. Analyse des risques.....	69
IV.3.1.a. Risques organisationnels.....	69

IV.3.1.b. Risques techniques.....	69
IV.4. Macro-planning.....	70
IV.5. Estimation des coûts prévisionnels.....	72
IV.5.1. Description synthétique des lots pour l'évaluation financière .....	72
IV.5.2. Estimations des coûts de réalisation .....	73
IV.5.2.a. Estimation globale .....	73
IV.5.2.b. Estimation pour un suivi au 1/50 000.....	74
IV.5.2.a. Estimation pour un suivi au 1/15 000.....	75
IV.5.2.a. Estimation du coût total de réalisation.....	76
IV.5.3. Estimation des gains par mutualisation des acquisitions .....	76
IV.6. Conclusion .....	77
<b>Chapitre V - Bibliographie .....</b>	<b>78</b>

## Table des illustrations

Figure 1 : Graphique de synthèse des interactions du suivi de l'impact environnemental des feux avec les compétences des acteurs rencontrés.....	13
Figure 2 : Première proposition d'une articulation pour la création des indicateurs .....	15
Figure 3 : Exemple de Détection des points chauds sous couvert nuageux – cas de l'incendie du Creek Pernod en janvier 2013 - Crédits FIRMS, © NASA 2013 .....	21
Figure 4 : Base de données "points chauds" MODIS sur la Nouvelle-Calédonie.....	22
Figure 5 : Points chauds base de données World Fire Atlas de l'ESA - mars 2012, (c) ESA 2012 .....	23
Figure 6 : Produit MCD45A1 - feux de Grèce de 2007, © NASA 2007 .....	25
Figure 7 : Suivi journalier des feux de la Réunion en octobre 2011 et estimation des impacts (SERTIT, 2011a) .....	26
Figure 8 : feu à Saint Christophe (Yaté) - vue 3D Qëhnelö (Plateforme Qëhnelö™ de la Mairie de Yaté) de l'image GeoEye-1 de juin 2010 sur MNT DITTT à 10 m. Le maquis ligno-herbacé à fougère suit l'empreinte du feu de 2006. ....	29
Figure 9 : Capacités d'observation de la Terre passées et actuelles.....	31
Figure 10 : Produits générés et directement accessibles par le système « Fast registration » de l'ESA CAT1.....	43
Figure 11 : Produits accessibles sur demande de l'ESA CAT 1.....	44
Figure 12 : Procédure pour les projets CAT 1 de l'ESA.....	45
Figure 13 : Système d'alerte de Busfire Connect.....	48
Figure 14 : Proposition de « workflow » pour le suivi participatif des feux.....	50
Figure 15 : Occurrence des points chauds "feu" de la base de donnée MODIS I, MODIS II et ATSR par mois (Barbero et al., 2011).....	51
Figure 16 : Proposition d'une méthode systématique d'acquisition de donnée pour le suivi de l'impact environnemental des feux .....	54
Figure 17 : Vision synthétique des dépendances des différents lots .....	60
Figure 18 : Proposition de macro planning sur deux cycles .....	71
Tableau 1 : Récapitulatif des indicateurs possibles sur la thématique de l'impact environnemental des feux (non exhaustif) [1 – besoin fortement exprimé / 3 – besoin faiblement exprimé] .....	14
Tableau 2 : Relation entre la résolution des données et l'échelle et la taille des objets reconnus sans ambiguïté. ....	27
Tableau 3 : Synthèse des capteurs utilisés pour la détection des feux actifs .....	31
Tableau 4 : Synthèse des capteurs utilisés pour la détection des zones brûlées.....	32
Tableau 5 : Synthèse des capteurs radar utilisés pour la détection des zones brûlées.....	35
Tableau 6 : Agences Spatiales mondiales.....	35
Tableau 7 : futures missions approuvées entre 2013 et 2033 .....	36
Tableau 8 : Fourchette de coût de réalisation.....	76

## Abréviations

APICAN : Agence pour la Prévention et l'Indemnisation des Calamités Agricoles ou Naturelles  
BEE: Bureau d'Expertise de l'Environnement  
CEN : Conservatoire des Espaces Naturels  
CFF 988 : Cellule Feu de Forêt de Nouvelle-Calédonie  
CIS /CSI : Centre d'Incendie et de Secours  
COZ : Centre Opérationnel de la Zone Sud Ouest  
DICRIM : Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs  
DPFM : Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne  
DTSI : Direction des Technologies et Services de l'Information de la Nouvelle-Calédonie  
HBE: Hélicoptère Bombardier d'Eau  
IMBE : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale  
INC : Programme "Biodiversité et Incendies en Nouvelle-Calédonie"  
NC : Nouvelle-Calédonie  
OEIL : Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie  
ONF : Office National des Forêts  
ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile  
ORSEC FDF : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile Feu de Forêt  
PCS : Plan Communal de Sauvegarde  
PN : Province Nord  
PPFF : Plan de massif de Protection de la Forêt contre le Feu  
PS : Province Sud  
SAFF : Saison Administrative Feux de Forêt  
SC : Sécurité civile  
SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours  
SIG : Système d'Information Géographique  
UNC: Université de Nouvelle-Calédonie  
WWF: World Wide Fund for Nature

## Chapitre I - Résumé

La priorisation des besoins exprimés dans le lot 1 a fait ressortir une première structuration du suivi environnemental des feux. Il est nécessaire de :

1. Localiser précisément les feux,
2. Améliorer les données de caractérisation environnementale disponibles et notamment concernant la végétation afin de prioriser les enjeux de conservation,
3. Estimer les surfaces et impacts des feux.

Le lot 2 de cette étude propose des indicateurs afin d'apporter des réponses sur ces thématiques ciblées par les futurs utilisateurs du suivi.

Actuellement les informations sources permettant la création de ces indicateurs sont hétérogènes et certaines présentent des lacunes ne permettant pas de réaliser le suivi de manière efficace. Il semble difficile de baser un suivi solide ou encore de développer des indicateurs de « second niveau » sans proposer une amélioration méthodologique de l'acquisition de certaines informations indispensables (localisation et étendue des feux, typologie de la végétation).

Le lot 3 de cette étude propose la mise en place d'un suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux basé sur :

- Le recensement en continu des feux sur le territoire d'intérêt en combinant des sources hétérogènes d'information (terrain, suivi participatif et détection par satellite) ;
- L'identification et la capitalisation des surfaces brûlées ;
- La création et le maintien de bases de données environnementales du milieu ;
- La publication régulière (après chaque saison des feux) des jeux d'indicateurs définis dans le lot 2 de cette étude.

La réalisation du suivi environnemental de l'impact des feux est articulée autour de neuf lots :

- Lot 1 : Recensement de la localisation des feux
- Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi
- Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées
- Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation
- Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations
- Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux
- Lot 7 : Diffusion des données du suivi
- Lot 8 : Suivi participatif - Mise en place d'un outil informatique
- Lot 9 : Maintenance des systèmes automatiques

Le cœur du dispositif est constitué des lots 1, 2, 3 et 4 afin d'assurer un suivi opérationnel minimal. Certains lots (2 et 4) peuvent être mutualisés avec d'autres projets nécessitant l'acquisition de données d'observation de la Terre (cartographies d'occupation des sols par exemple). Les lots 6, 7, 8 et 9 constituent des améliorations du suivi et peuvent également être supportés dans le cadre d'autres projets.

Les améliorations et gains réalisés par le protocole de suivi opérationnel de l'impact des feux sont :

**Tableau 1 : les améliorations apportées par le protocole proposé**

	Existants	Amélioré par le protocole proposé	Créé dans le cadre du protocole proposé
<b>Recensement des feux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recensement par la CFF988</li> <li>• Base de données MODIS des points chauds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardisation et systématisation des sources</li> <li>• Mise en commun et croisement des sources CFF988 et de points chaud par satellite</li> <li>• Continuité du recensement au-delà de la CFF988</li> <li>• Confiance accordée à la base de données de localisation des feux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivi participatif des feux pour améliorer la base de données de localisation des feux</li> <li>• Renforcement des liens organisationnels</li> <li>• Base de données homogène, opérationnelle et consolidée de la localisation des feux</li> </ul>
<b>Recensement des surfaces brûlées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de données MODIS II (ANR INC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méthodes d'acquisition des surfaces brûlées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• base de données homogène, consolidée et exhaustive des surfaces brûlées</li> </ul>
<b>Maintien de bases de données environnementales du milieu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode d'occupation des sols (DTSI, OEIL)</li> <li>• Typologie de la végétation (DENV)</li> <li>• Cartographie de la biodiversité et de l'endémisme (IRD, IAC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptation aux besoins de suivi de l'impact environnemental des feux</li> <li>• Mis à jour en continu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• base de données homogène et consolidée des milieux</li> </ul>
<b>Suivi de l'impact environnemental des feux</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicateurs de suivi de l'impact environnemental des feux</li> <li>• Points étape et points bilan chaque année</li> </ul>

Les coûts de mise en place et de maintien du protocole proposé sont variables en fonction de l'étendue (Grand Sud ou l'ensemble du territoire) et de l'échelle de suivi préconisée (1/50 000, 1/15 000) :

- Coût de mise en place variant de 25 à 87 millions de francs (Xpf) sur une durée de 18 mois ;
- Coût de maintien opérationnel de 600 000 à 3,7 millions de francs (Xpf) par mois.

## Chapitre II - Présentation générale du projet

### II.1. Rappel de la lettre de commande

Le forum sur le suivi des milieux terrestres du sud organisé par l'OEIL en juin 2012 a identifié les incendies comme une des causes de pressions les plus fortes sur l'environnement néo-calédonien.

Les feux sont aujourd'hui suivis de deux manières :

- Le suivi mis en place par le gouvernement (APICAN/DTSI) se base sur les informations remontées par les différentes brigades de sapeurs-pompiers depuis le terrain. Ces données sont principalement acquises dans un but de gestion opérationnelle et non de mesurer l'impact environnemental des incendies. Seules les coordonnées géographiques du point de départ de feu, une surface estimée visuellement et un type très sommaire de milieu sont relevés. En outre, la base n'est pas exhaustive car les feux ne présentant pas de menaces pour des biens et ne donnant pas lieu à intervention ne sont pas référencés dans ce suivi.
- Dans le cadre du projet INC, l'unité Espace de l'IRD a mis au point une chaîne automatique de traitement des images satellites MODIS pour constituer une cartographie à jour des zones incendiées et des points de départ de feu. La chaîne de traitement est opérationnelle et intègre des règles de gestion pour disposer de résultats les plus pertinents possibles. Ce moyen de détection présente un certain nombre de limites liées à la méthode et au capteur utilisé (fréquence de revisite du satellite, conditions météorologiques, taille des pixels,...). Cette chaîne a été mise en place dans le cadre d'un projet particulier et ne donnera pas forcément suite à un suivi.

En relation avec les recommandations de la feuille de route qui découle du forum sur le suivi des milieux terrestres, l'OEIL va réaliser un certain nombre d'actions visant à améliorer le suivi des impacts environnementaux des feux et se propose de lancer une étude dont les objectifs sont définis ci-dessous.

Cette étude a plusieurs objectifs :

- Recensement et analyse préalable des besoins auprès des différents acteurs de manière à définir plus précisément les différentes composantes du suivi des impacts environnementaux des feux. A la suite de cette phase d'analyse, une restitution sera faite à l'ensemble des acteurs concernés constitué en groupe de travail. Ce travail d'analyse et de synthèse sera un support permettant d'orienter les prochaines actions du groupe.
- Définition d'indicateurs sur l'impact environnemental des feux en lien notamment avec les besoins identifiés sur la phase d'analyse. Il est demandé de veiller à leur caractère réellement opérationnel. Chaque indicateur sera décrit à l'aide d'une fiche type sur un modèle proposé par le prestataire et validé par l'Observatoire. La méthodologie pour produire l'indicateur sera notamment explicitée, des exemples de représentations, des références scientifiques et opérationnelles seront fournies.
  - indicateurs directs : nombre de départ de feux, surfaces brûlées, durée moyenne, intensité, type de surface dégradée, etc.
  - indicateurs indirects : ressource en eau, érosion, développement d'espèces envahissantes, connectivité écologique, etc.
- Une proposition d'un nouveau suivi de l'impact à travers l'amélioration de l'acquisition des données de base sur les feux (surfaces brûlées, nombre de départ de feux, intensité, etc.).

- Une étude particulière sera menée pour un suivi par télédétection appuyée par un solide argumentaire scientifique et opérationnel étayé par des références. L'étude devra notamment tenir compte :
  - de nouveaux capteurs disponibles et à venir,
  - des nouveaux types de traitements disponibles,
  - des perspectives d'installations locales d'infrastructures de réception d'images satellites,
  - de la participation possible à des programmes scientifiques, de mutualisation d'acquisition de données (ex GEOSUD) ou pilotes dans le domaine de la télédétection
- D'autres types de suivi (via des moyens aéroportés par ex) pourront être proposés dès lors qu'ils répondent à l'objectif.
- L'étude de ces nouveaux suivis présentera des aspects techniques mais aussi opérationnels et financiers. Cette proposition sera chiffrée sur trois zonages différents (Le grand sud, la province sud, la Nouvelle-Calédonie).

L'étude s'appuiera notamment sur :

- la rencontre les principaux intervenants sur cette problématique (Sécurité Civile, USPNC, Ecole des Sapeurs-pompiers de NC, PN, PS, PIL, Gouv DTSI-APICAN, CEN, IRD, WWF,...),
- une recherche bibliographique et technique

Il ne s'agit pas de travailler sur la prévention des incendies ou sur leur gestion opérationnelle mais bien d'axer la réflexion sur la mesure de l'impact environnemental des feux.

## II.2. Rappel du lot 3 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux

### II.2.1. Objectifs

L'étude du lot 3 devra permettre de :

- Proposer des solutions d'organisation, fonctionnelles et techniques répondant aux exigences et besoins exprimés lors du lot 1,
- Vérifier la faisabilité organisationnelle, technique et financière sur trois zonages différents (Le Grand Sud, la Province Sud, la Nouvelle-Calédonie).

### II.2.2. Méthode

L'étude débutera par une analyse synthétique des besoins existants (Lot 1) et des indicateurs de suivi proposés (Lot 2). Celle-ci permettra de dégager l'ossature du protocole de suivi opérationnel de l'impact des feux. Cette étape mettra également en évidence les aspects d'ores et déjà opérationnels du protocole de suivi, les points à améliorer/modifier, ainsi que les manques éventuels.

Sur la base de cette analyse, un protocole opérationnel de suivi de l'impact des feux sera proposé à l'observatoire. Celui-ci intégrera les moyens déjà en place ainsi que l'amélioration des procédures d'acquisition des données par l'apport :

- D'autres types de suivi méconnu (satellitaire, aéroporté, drones) ;
- L'intégration d'infrastructure de mutualisation de l'information.

Une attention particulière sera portée à l'apport de la télédétection opérationnelle à chaque étape identifiée du protocole de suivi. Les propositions d'apport par l'imagerie satellitaire seront

rigoureusement référencées d'un point de vue scientifique et explicitées d'exemples opérationnels opérés dans le monde concernant :

- L'adéquation des charges utiles actuelles et futures des missions satellitaires pour le suivi opérationnel des feux ;
- Les méthodes de traitements du signal et des images.

Les moyens à mettre en œuvre afin d'intégrer la télédétection pour le suivi des feux seront analysés et quantifiés en terme de coût/gain et de pertinence concernant:

- L'installation d'infrastructure de réception de données satellitaires ;
- La création d'infrastructures d'hébergement, d'accès et d'entretien de la donnée ;
- La chaîne de traitement de l'information depuis les satellites jusqu'aux utilisateurs finaux.

Enfin, l'accès aux données satellitaires par le biais de programmes régionaux, nationaux ou internationaux et la participation à des programmes scientifiques de démonstration ou pré-opérationnels seront étudiés.

Le protocole proposé sera chiffré sur trois zonage différents (Grand Sud, Province Sud, Nouvelle-Calédonie) selon :

- Les aspects techniques (matériel, infrastructure, moyens humains, coûts) ;
- Les aspects opérationnels (contraintes, moyens humains, temps de réalisation, maintien du protocole) ;
- Coût de maintien opérationnel du dispositif.

### **II.2.3. Livrables**

- Un rapport de proposition d'un nouveau suivi de l'impact à travers l'amélioration de l'acquisition des données de base sur les feux,
- Un diaporama présentant l'avancée et les résultats d'analyse.

II.3. Schéma synthétique du protocole opérationnel du suivi de l'impact environnemental des feux

### **II.3.1. Les besoins (rappel Lot 1)**

La priorisation des besoins exprimés dans le lot 1 a fait ressortir une première structuration du suivi environnemental des feux. Celui-ci doit :

1. Localiser précisément les feux,
2. Améliorer les données de caractérisation environnementale disponibles et notamment concernant la végétation afin de prioriser les enjeux de conservation,
3. Estimer les surfaces et impacts des feux.

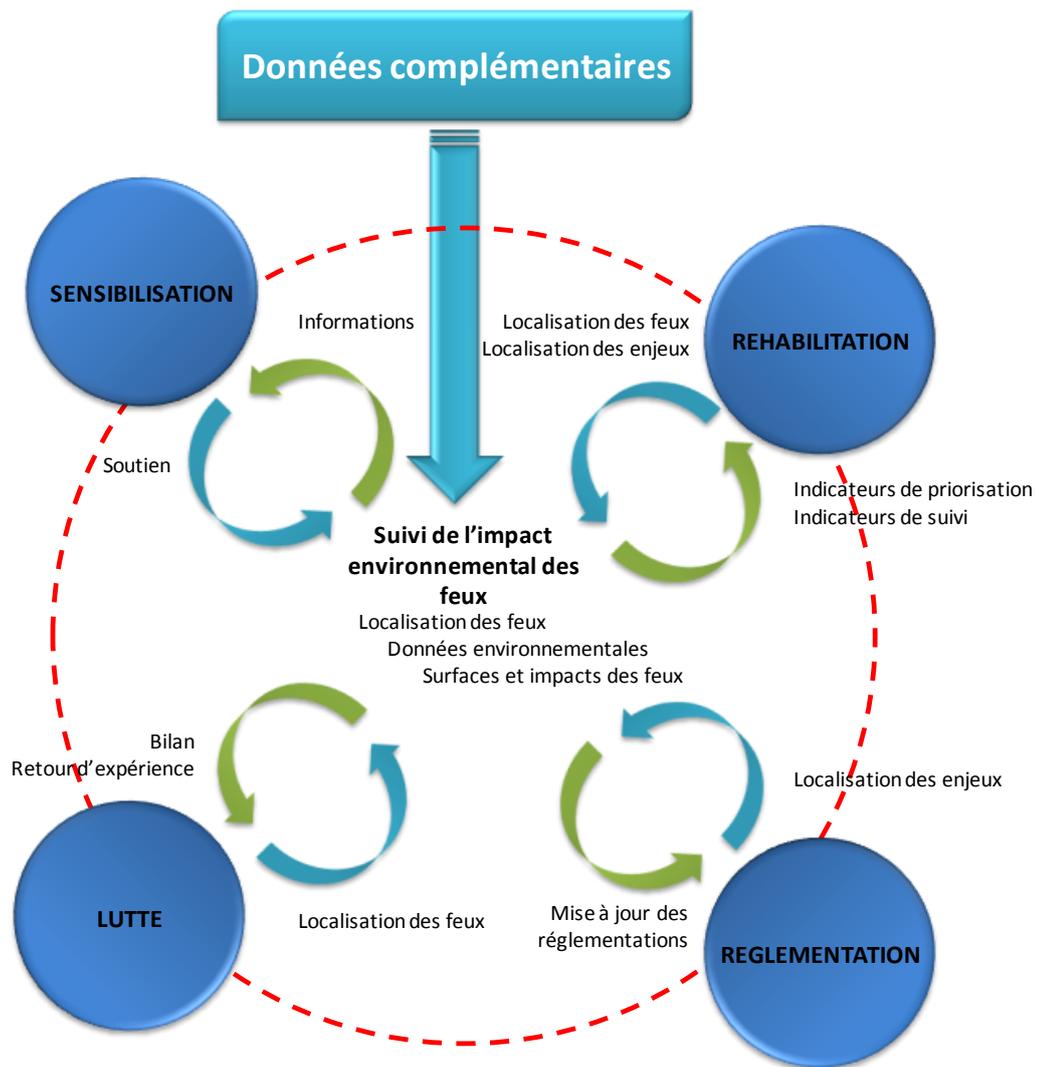


Figure 1 : Graphique de synthèse des interactions du suivi de l'impact environnemental des feux avec les compétences des acteurs rencontrés.

Ces besoins placent au centre du dispositif la connaissance des événements feux et la précision des données environnementales.

**Synthèse :**

Quatre grands secteurs de compétences sont à prendre en compte lors de la constitution des indicateurs du suivi : la sensibilisation, la lutte, la réglementation et la restauration des milieux. Les indicateurs proposés doivent apporter une information permettant de déclencher une réflexion, voire des actions, dans ces quatre domaines.

Cette étude de faisabilité vise la mise en place d'un protocole de suivi de l'impact environnemental des feux à partir d'indicateurs. Pour être efficace et intégrable dans les chaînes de décision actuelles et futures, ces indicateurs ont été pensés par "secteurs de compétences" et non par "type d'organisme".

### II.3.2. Les indicateurs (rappel Lot 2)

Tableau 2 : Récapitulatif des indicateurs opérationnels sur la thématique de l'impact environnemental des feux (non exhaustif) [1 – besoin fortement exprimé / 3 – besoin faiblement exprimé]

Titre de l'indicateur	Type d'indicateur : Pression (P), Etat (E), Réponse (R)	Caractéristique de l'impact décrit	Besoins utilisateur exprimés
Recensement annuel des feux	P Direct	Localisation ponctuelle	1
Fréquence des feux	P Direct	Fréquence	1
Temps de retour ou périodicité des feux	E indirect	Fréquence	3
Surfaces brûlées	P Direct	Etendue	2
Successions végétales	P Direct	Ampleur	2
Impacts environnementaux des feux sur la flore	P indirect	Ampleur	2
Impacts environnementaux des feux sur le micro endémisme végétal	P indirect	Ampleur	2

Dans le cadre du lot 3, afin de dégager une ossature de protocole de suivi opérationnel de l'impact des feux, les indicateurs retenus sont ceux dont les utilisateurs ont exprimé un besoin fort lors du lot1, qui ont fait consensus lors de la réunion de restitution du 09 Août 2013 et ceux qui font l'objet d'un besoin spécifique exprimé par l'OEIL. Il s'agit des indicateurs recensés comme opérationnel dans le lot 2 dans le paragraphe IV.1 et 2.

### II.3.3. Schéma synthétique du protocole opérationnel

La [Figure 2](#) représente un premier agencement temporel pour la création des différents indicateurs. L'unité temporelle de base est donc une année calendaire, débutant par la saison des feux (août), élément essentiel de structuration du suivi.

Au cours de cette année, les indicateurs de caractérisation des feux (recensement/localisation, fréquence, périodicité et de surfaces brûlées) seront mis en œuvre selon une granularité et une méthodologie qui sera explicité dans le lot 3. Les indicateurs d'état produit en parallèle (Successions végétales : Typologie de la végétation, de fragmentation des forêts et de qualification de la structure arborescente des savanes) permettront la caractérisation des milieux.

Enfin le croisement de ces deux séries d'indicateurs permettra la production d'une série d'indicateurs de second niveau, focalisés sur la qualification des impacts environnementaux des feux.

C'est donc par le développement plus complet d'un protocole de suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux que l'on fixera précisément la granularité pertinente de production des différents indicateurs et les détails techniques de création d'une information solide, base d'un suivi de qualité.

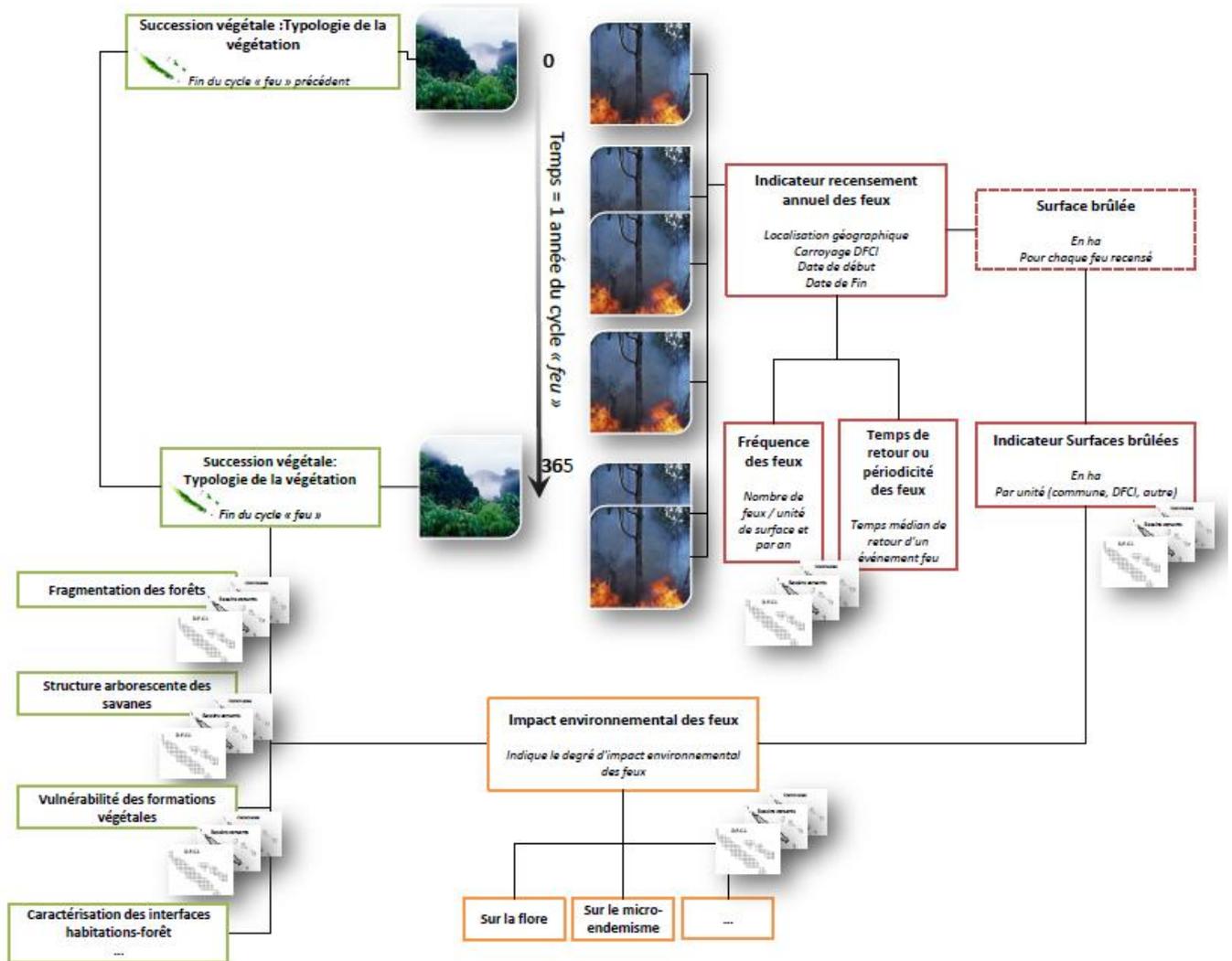


Figure 2 : Première proposition d'une articulation pour la création des indicateurs

## Chapitre III - Protocole opérationnel du suivi

### III.1. Analyse des éléments fonctionnels

#### **III.1.1. Eléments opérationnels**

La CFF988 réalise d'ores et déjà un recensement des feux et une capitalisation en base de données des feux qui lui sont portés à connaissance. A cette base s'ajoute la détection des points chauds effectués par MODIS de manière quotidienne sur l'ensemble du territoire.

Ces éléments opérationnels sont à intégrer dans le cadre d'un suivi de l'impact environnemental des feux.

#### **III.1.2. Eléments à améliorer**

S'il existe déjà des éléments opérationnels de recensement des feux (CFF988 et MODIS), ceux-ci doivent être améliorés dans le cadre des préconisations issues du Lot 1 et des indicateurs recensés dans le Lot 2 de cette étude. Les points à améliorer sont :

- La localisation des feux doit être standardisée et systématisée pour chaque source de données de localisation des feux (CFF988, MODIS, suivi participatif, autre) afin de les rendre exploitables dans le cadre d'un suivi ;
- Le recensement doit être réalisé de manière continue (et non de manière saisonnière) par le croisement et la consolidation des bases de données de localisation précédentes ;
- Les données MODIS doivent être filtrées en fonction des caractéristiques spécifiques de détection de cet outil (degré de confiance, taille des feux, intensité des feux, durée des feux). La base de données MODIS pourrait être complétée par l'ajout des points chauds issus d'autres capteurs (WorldFire Atlas de l'ESA ou AVHRR) en tenant compte des différences de capteurs et des différences de méthodologies employées. Les données AVHRR sont compatibles en terme de fréquence de suivi et de continuité aux données MODIS. Les données WorldFire Atlas restent quant à elles ponctuelles en terme de revisite et ne couvre que la période 1995 à 2012 (perte du capteur ATSR).

La prise en compte de ces sources d'information doit être envisagée de manière complémentaire étant donné que le mode d'acquisition de l'information pour chacune d'elle est spécifique et lacunaire. La fusion de ces deux sources de données, auxquelles un dispositif de participation citoyenne peut être ajouté, doit permettre :

- une validation croisée de l'information satellitaire et de terrain,
- une augmentation de la représentativité de la base de données
- d'accéder à un indicateur de recensement annuel consolidé des feux.

L'acquisition des surfaces brûlées est aujourd'hui opportuniste (relevé par hélicoptère, relevé par satellite). L'acquisition des surfaces brûlées doit être systématisée afin d'obtenir une estimation

représentative des surfaces impactées. Le recensement consolidé des feux peut permettre d'optimiser cette phase de recensement des surfaces brûlées.

Aussi, la modélisation du risque incendie telle que proposée dans le cadre du projet INC<sup>1</sup> pourra également être exploitée afin :

- D'optimiser le recensement des feux et des surfaces brûlées ;
- De qualifier l'exhaustivité et la qualité des données (identification de lacune, cohérence des bases de données).

### **III.1.3. Eléments à créer**

S'il existe plusieurs bases de données de caractérisation de la végétation (DTSI, Province Sud, OEIL), l'analyse des besoins utilisateurs et des indicateurs de suivi de l'impact environnemental des feux fait apparaître que celles-ci ne répondent pas aux besoins spécifiques d'un suivi de l'impact environnemental des feux en terme de :

- Homogénéité des données ;
- Echelle d'utilisation ;
- Typologie.

De plus, la structuration temporelle du suivi de l'impact environnemental des feux est également à constituer :

- Point initial du suivi ;
- Calendrier d'acquisition des données ;
- Calendrier de production des indicateurs ;
- Fréquence de mise à jour des indicateurs ;
- Point bilan du suivi.

Enfin, d'un point de vue organisationnel, le lien avec les CSI communaux sur la base d'échanges gagnant - gagnant doit être effectif avec la cellule en charge du suivi de l'impact environnemental des feux. Etant au contact direct des interventions sur les incendies et des populations locales, les CSI possèdent une connaissance précise des feux et des événements sur leur territoire. Cet échange peut porter sur :

- le recensement des feux effectué par les CSI et transmis à la cellule en charge du suivi de l'impact environnemental des feux ;
- la consolidation de la base de localisation des feux dans le cadre du suivi par l'expertise terrain des CSI ;
- l'échange de données sur les feux (localisation, surfaces, impacts et indicateurs) au CSI pour leurs échanges et reporting auprès du Haut-Commissariat ou du PCS.

### III.2. Protocole d'acquisition de données

Le protocole d'acquisition des données à mettre en œuvre s'appuie sur les éléments existants (base de donnée des départs de feux de la CFF988, base de données des points chauds MODIS) afin d'en

---

<sup>1</sup><http://deployeur.univ-nc.nc/inc/modele.html>

renforcer la représentativité. L'acquisition des données doit également permettre la création et la mise à jour des indicateurs mentionnés dans le lot 2.

La télédétection satellitaire apparait ici comme une source de donnée à large champ et à haute fréquence temporelle permettant d'accéder aux informations de localisation des feux, de surfaces brûlées et de typologie de la végétation en complément des données de terrain et des données exogènes ; elle sera donc principalement traitée. D'autres moyens d'acquisition de données, de terrain notamment, seront également abordés (outils participatifs).

### **III.2.1. La télédétection des feux**

Les données de télédétection sont actuellement utilisées dans l'ensemble des phases opérationnelles du cycle de la gestion du risque feux. De part leurs caractères synoptiques et systématiques, les données de télédétection entrent dans la composition :

- de modèles de prévision des feux ;
- de cartographies des secteurs sensibles au risque feux ;
- de cartographies de l'extension et de l'impact des feux lors de la gestion événementielle ;
- le suivi de la réhabilitation de sites dégradés.

Dans le cadre d'un suivi de l'impact environnemental de feux, la télédétection satellitaire est une source d'information pertinente pour :

- Recenser l'occurrence des feux ;
- Déterminer l'extension des feux ;
- Suivre la réhabilitation des sites.

Les capteurs embarqués par satellite mesurent le spectre électromagnétique de la surface de la terre selon, des résolutions, des longueurs d'onde et des modes spécifiques à chaque capteur. De ce fait, différents types de capteurs peuvent être exploités sur la thématique des feux :

- Capteurs multispectraux et superspectraux avec moyen infrarouge et infrarouge thermique ;
- Capteurs multispectraux visible - proche infrarouge ;
- Capteurs radar.

Du type de mesure (longueurs d'onde exploitées, résolution) dépend l'information (feu, surface impactée, etc.) que l'on va pouvoir détecter, identifier ou reconnaître.

#### *III.2.1.a. Détecter, identifier et reconnaître les feux*

Le traitement de l'information de télédétection, automatique ou par interprétation visuelle, dépend du type et de la résolution des données utilisées. En fonction de ces paramètres, des niveaux de reconnaissance des objets, allant de la détection sans qu'il soit possible de déterminer la nature de l'objet (soit en raison de la taille de l'objet par rapport à la résolution des données, soit car l'objet n'est pas discriminé dans les longueurs d'onde utilisées), au discernement complet de l'objet (nature, taille, forme, etc.) sont utilisés (Heitz, 2006).

Dans le cas du suivi de l'impact environnemental des feux, nous ne considérons que les niveaux de reconnaissance avec discernement complet :

- "feu",
- "secteurs brûlés",
- "secteurs impactés par les feux",

Ces niveaux serviront à caractériser le niveau de précision et l'exhaustivité des capacités des capteurs embarqués dans le cadre d'un suivi.

D'un point de vue méthodologique, deux grandes familles de méthodes en télédétection sont couramment employées : les méthodes par photo-interprétation et les méthodes à base de traitement du signal.

La photo-interprétation consiste en la digitalisation manuelle par un ou des opérateurs analysant visuellement l'image pour en extraire le contenu informatif. Cette méthode, traditionnelle, est encore largement utilisée pour la caractérisation et la cartographie des milieux. Adaptée aux inventaires exhaustifs, la photo-interprétation présente des limites dans le cadre actuel de mise en place de systèmes de suivi à base d'indicateurs simples, mesurables et surtout reproductibles.

Les méthodes à bases de traitement du signal reposent sur l'exploitation des mesures de réflectance calibrées enregistrées par les capteurs satellitaires à l'aide de méthodologie mathématiques, logiques ou hybrides.

Ces méthodes, basées sur 40 années de recherches internationales, exploitent des procédures standardisées dont les résultats sont prévisibles et mesurables. Cela permet de reproduire les chaînes de traitement sur différents types de données, à différentes dates et sur des sites différents. Ces méthodes sont également plus rapides permettant un meilleur contrôle qualité et ce qui les rends opérationnelles dans le cadre d'un suivi. On peut rajouter que « l'œil du satellite » perçoit des paramètres invisibles à « l'œil humain » qui ne perçoit qu'une infime partie de la gamme des longueurs d'onde, ce qui permet par exemple de détecter un stress hydrique de la végétation non détectable par la couleur.

Tableau 3 : avantages et inconvénients des méthodes de traitements des images satellitaires

	Avantages	Inconvénients
Photo-interprétation	<ul style="list-style-type: none"><li>• Historique</li><li>• Utilisable en deçà du 1:1000 ème</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Long et couteux</li><li>• Dépendant de l'interprète</li><li>• Dépend de la prise de vue</li><li>• Analyse uniquement visuelle</li><li>• Pas de contrôle qualité</li></ul>
Méthodes à base de traitement du signal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reproductibles dans le temps</li><li>• Reproductibles sur différents sites</li><li>• Reproductibles avec différentes sources de données</li><li>• Capacités accrue d'analyse</li><li>• Traitement de grandes surfaces</li><li>• Contrôle qualité</li><li>• Moins cher</li></ul>	Non utilisable en deçà du 1:1000ème

### III.2.1.b. Détection des points chauds

Les capteurs multispectraux ou superspectraux comprenant les canaux du moyen infrarouge et de l'infrarouge thermique sont exploités pour la détection des points chauds.

Développés à partir de données NOAA AVHRR (Li et al., 2000), les algorithmes de détection des points chauds (*hot spots*) ont été largement exploités et améliorés.

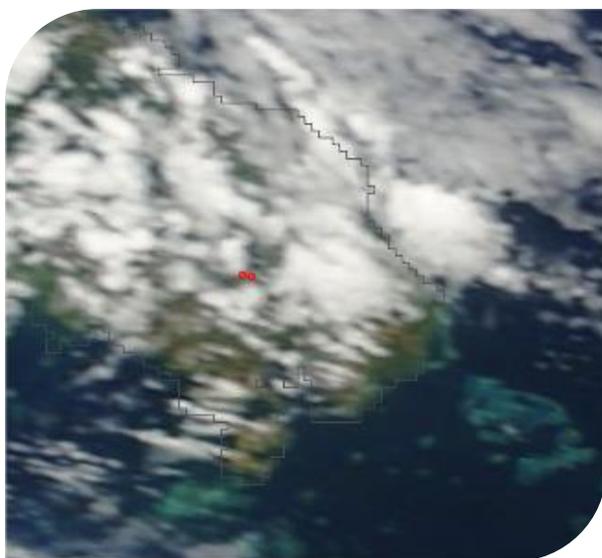
Les données dérivés des données Terra et Aqua MODIS sont actuellement les produits de détection des feux actifs les plus aboutis et la base de données mondiale la plus complète pour les besoins de la recherche scientifique et des communautés d'utilisateurs pour les feux (Justice et al., 2006).

La constellation Aqua et Terra MODIS permet la détection automatique des points chauds 4 fois par jour (0:40, 9:30, 12:30, 21:30 - heure de Nouvelle-Calédonie) selon leurs orbites montante et descendante, ce qu'aucun autre système ne permet de faire à l'heure actuelle.

La détection des points chauds est réalisée par l'exploitation des données kilométriques centrées sur les longueurs d'onde 3.9 et 11  $\mu\text{m}$  (correspondant au moyen infrarouge et à l'infrarouge thermique). L'algorithme, adapté en fonction de l'acquisition jour ou nuit, repose sur la température apparente du pixel et la différence entre cette température et la température des pixels voisins (Giglio et al., 2003; Justice et al., 2006). De ce fait, le capteur détectera les feux actifs lors du passage du satellite.

Exploitant des longueurs d'onde faiblement perturbées par l'absorption atmosphérique ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) et des particules, ces algorithmes permettent des détections même avec couvert nuageux peu épais ou, plus fréquemment, sous des panaches de fumées (Giglio et al., 2003; Justice et al., 2006; Li et al., 2000).

Les feux observés par les satellites Aqua et Terra MODIS lors du feu du Creek Pernod en janvier 2013 illustrent la capacité du dispositif à détecter les points chauds même en présence de nuages.



Feux détectés le 12 janvier 2013 - Image Terra du 12 janvier 2013



Feux détectés le 15 janvier 2013 - Image Terra du 15 janvier 2013

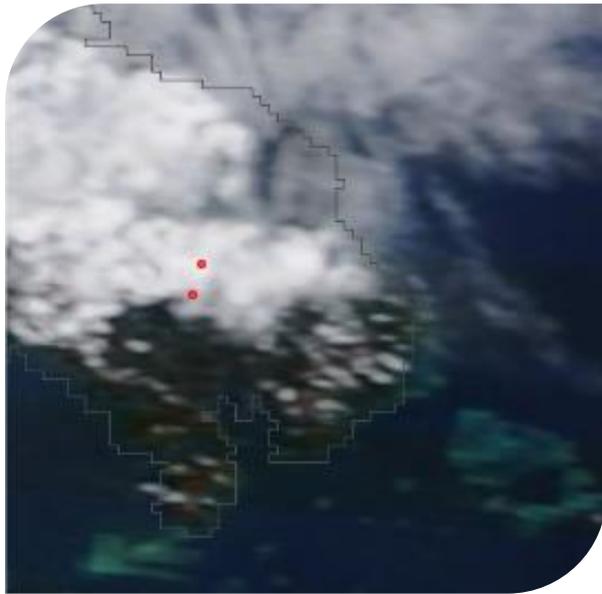


Figure 3 : Exemple de Détection des points chauds sous couvert nuageux – cas de l'incendie du Creek Pernod en janvier 2013 - Crédits FIRMS, © NASA 2013

Feux détectés le 16 janvier 2013 - Image Terra du 16 janvier 2013

L'algorithme a été révisé plusieurs fois depuis sa création dans les années 1990 : 1998, 2003, 2006 (Giglio et al., 2003, 2008; Justice et al., 2006; Li et al., 2000).

Pour la communauté d'utilisateur "feux", un feu actif renvoie généralement à une surface de végétation brûlée de taille (ou de conséquence) suffisante pour déclencher une action (intervention sur feu, recensement, réhabilitation). La notion de feux actifs détectés est ici différente (Csiszar et al., 2006). La capacité de détection des feux actifs par le système MODIS dépend de l'algorithme et du capteur employé.

De cette manière, l'analyse des erreurs de détection MODIS a montré que 60% des feux détectés par cette technique correspond à des feux individuels ; et inversement, un feu de grande ampleur peut être détecté simultanément par MODIS (Csiszar et al., 2006).

Des études montrent également que la détection des feux devient instable à partir d'une taille de feu critique mais que l'intensité du feu augmente la détection de petits feux (Csiszar et al., 2006; Giglio, 2013; Giglio et al., 2008) :

- L'algorithme est instable pour détecter des feux de taille inférieure à 13 ha ;
- Dans des conditions optimales (météo, nadir, feux actifs et intenses), l'algorithme est capable de détecter un feu de 0,1 ha (cela peut-être illustré par la présence dans la base de données MODIS de points chauds récurrents localisés sur les fourneaux de la SLN à Doniambo).

Une autre limitation de la méthode a été relevée sur les secteurs tropicaux de savane. En effet, ce type de milieu (végétation rase, éparse avec sol apparent) émet et réfléchit naturellement dans le domaine du moyen infrarouge autour de 3.55 - 3.93  $\mu\text{m}$  pouvant entraîner une perturbation de la détection des points chaud (Koffi et al., 1995).

Ces observations indiquent que la détection des feux par MODIS dépend :

- d'abord de l'intensité (chaleur) du feu observé ;
- puis de la taille du feu actif ;
- enfin de l'épaisseur de la couverture nuageuse.

Ainsi, la détection de point chaud MODIS délivré par la NASA comprend un degré de confiance indiquant l'incertitude de la mesure en fonction de ces paramètres : en dessous de 50% de confiance,



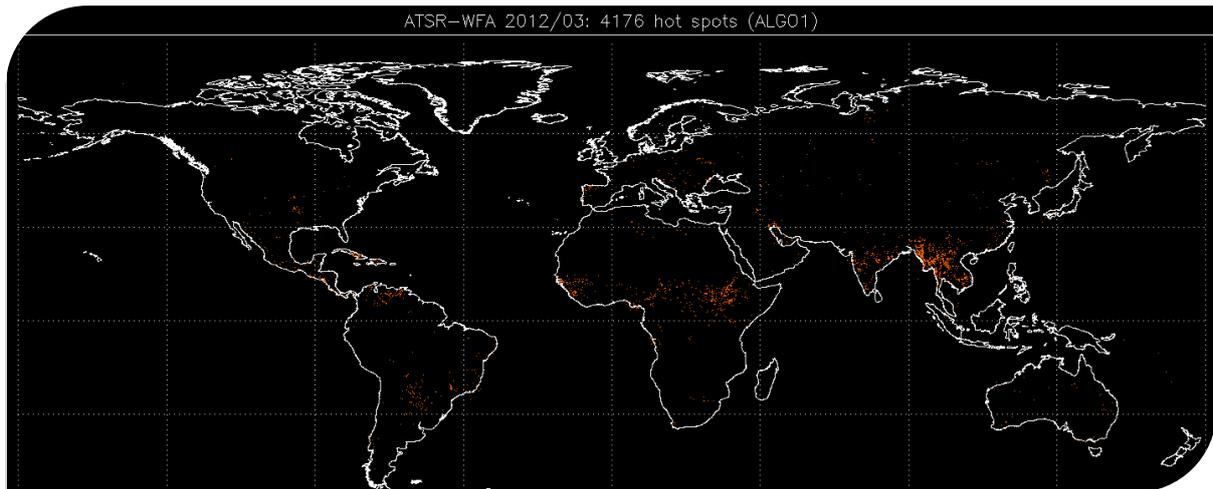


Figure 5 : Points chauds base de données World Fire Atlas de l'ESA - mars 2012, (c) ESA 2012

La détection des points chauds en tant que feux actifs :

- n'a de sens que si la détection est systématique et nécessite donc une constellation de satellites ou des systèmes géostationnaires permettant de multiples observations journalières
- basée sur la température des pixels et permet donc de s'affranchir des panaches de fumées et dans une moindre mesure de la couverture nuageuse (si celle-ci est peu importante)
- Les points chauds MODIS sont actuellement les seuls produits opérationnels de détection des points chauds par satellites et également les plus précis. L'exploitation d'autres capteurs nécessite la mise en place de la chaîne de production des points chauds à partir des images brutes.
- Le système MODIS détecte les feux dont la taille est supérieure à 13 ha ;
- Le système MODIS détecte des feux "chauds", si le feu est étendu mais dégage peu de chaleur celui-ci ne sera pas détecté ; inversement, un feu très localisé et très chaud sera détecté.

### III.2.1.c. Délimitation de l'étendue des feux

La cartographie des zones brûlées (*burn scare mapping*) à partir de données de télédétection a été initiée par (Matson and Dozier, 1981) en exploitant les données des canaux thermiques des capteurs LANDSAT. Il faut attendre les années 1990 et la prise de conscience de l'importance des feux dans les dynamiques atmosphériques liées aux changements climatiques pour que les études de délimitation des zones brûlées par télédétection se généralisent (Razafimanilo et al., 1995).

Ces études étaient également limitées par la résolution et la disponibilité de données à haute résolution temporelle qui, avant les années 1990, avaient une résolution de 20 à 30 m (données Landsat ou SPOT) et dont la fréquence de revisite était faible. De ce fait, les cartographies de zones brûlées étaient opportunistes (Razafimanilo et al., 1995).

A partir du milieu des années 1990, l'augmentation des capacités d'observation tant temporelle que spatiale permet aujourd'hui de profiter de plus de 80 capteurs actifs à des résolutions atteignant 50 cm et de couvrir l'ensemble de la surface du globe de manière journalière (ESA, 2013).

- **Méthodes**

Les méthodes se basent toutes le fait que les feux entraînent la couverture du sol par la cendre. cela a pour conséquence une modification de la radiance dans le visible et l'infrarouge, et également dans les valeur d'indice de mesure de l'activité de la végétation tel que le NDVI (Razafimpanilo et al., 1995).

En effet, la couverture par les cendres entraine systématiquement :

- une augmentation de la radiométrie dans le domaine du visible (bleu, vert, rouge), plus marquée dans le domaine du rouge, liée aux propriétés minérales des cendres ;
- une diminution de la radiométrie dans le proche infrarouge liée à la disparition de la végétation (disparition de l'activité photosynthétique) ;
- lorsque les capteurs comportent un canal moyen infrarouge, on observe également une augmentation de la radiométrie dans le moyen infrarouge lié à l'augmentation de la température du sol.

Enfin, les surfaces brûlées sont identifiables plus aisément par comparaison avec une image de référence avant événement (Andreoli et al., 2008; Barbosa et al., 1999; Razafimpanilo et al., 1995).

Les méthodes d'extraction des zones brûlées sont essentiellement des méthodes paramétriques par seuillages simples ou complexes (Andres, 2004), des comparaison d'images avant/après, ou des méthodes basées sur le traitement radiométrique multicanaux sur une image événementielle avec rotation d'axe de type SVM (Norton et al., 2009; Zammit et al., 2007).

Les comparaison des différentes techniques avec une vérité terrain montre que les méthodes sont comparables en terme de qualité des résultats et celles-ci proposent des extractions des zones brûlées avec des précisions de détection des surfaces supérieures à 96% (Zammit et al., 2007). Les différences entre méthodes seront essentiellement liées à des taux de sur-détection et d'omission différents : à capteurs équivalents, les méthodes classiques de seuillage présentent des taux d'omission de 3% et des taux de sur-détection de 5% alors que les méthodes de type SVM présentent des taux d'omission et de sur-détection équivalent à 3% (Zammit et al., 2007).

- **Utilisation opérationnelle**

Ces méthodes sont utilisées de manière opérationnelle pour le monitoring des feux mais également pour la gestion de crise et directement post-crise d'incendies. Cependant, ces deux exploitations opérationnelles requièrent des caractéristiques d'observation différentes :

- Dans le cas d'un monitoring systématique de l'étendue des feux :
  - Observations régulières sur une base à minima quotidienne pour localiser les feux de manière systématique et la plus exhaustive possible;
  - Automatisation des procédures.
- Dans le cas de la gestion de crise ou directement post-crise (évaluation d'impact) :
  - La première observation est la meilleure
  - Privilégier des données haute ou très haute résolution (30 m à 50 cm)
  - Semi-automatisation des procédures avec contrôle expert
  - rendu sur la base du "*Best effort*" dans des temps très courts (de 24 à moins de 6 heures - (SERTIT, 2005a)).

Les systèmes de monitoring des surfaces brûlées exploitent les capacités satellitaires à très haute résolution temporelle (constellations de satellites telles que MODIS et AVHRR, satellites géostationnaires tels que GOES). Les produits MODIS sont actuellement les produits de monitoring des feux les plus précis (500 m). Ces produits (MCD45A1) sont réalisés à partir des séries temporelles de données journalières en réflectance à 7 bandes à 500 m. les canaux proche infrarouge et moyen infrarouge sont utilisés en détection de changement à l'aide d'un modèle de réflectance bidirectionnel afin de déterminer les zones brûlées. Ces bandes présentent en effet l'avantage d'être peu perturbées par les fumées dégagées par les feux (Giglio, 2013; Giglio et al., 2003; Justice et al., 2006).

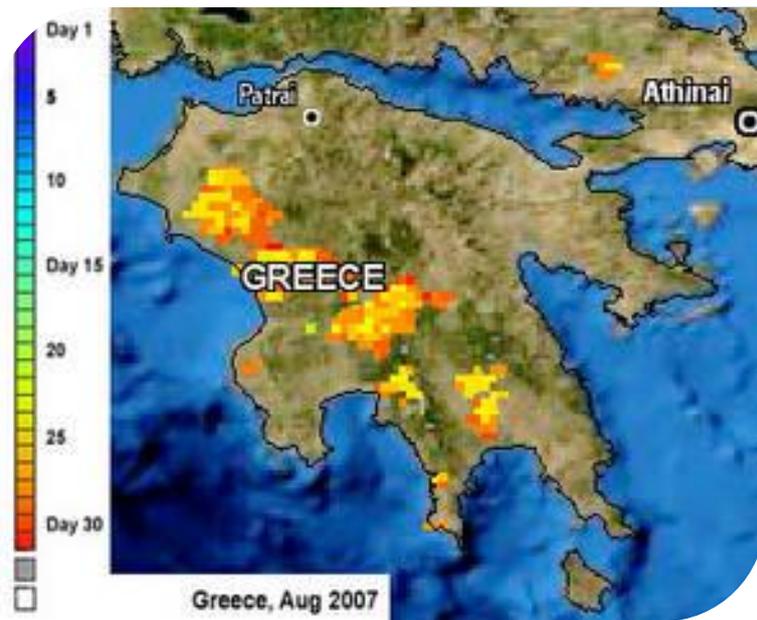


Figure 6 : Produit MCD45A1 - feux de Grèce de 2007, © NASA 2007

Dans le cadre de la gestion d'événement de crise, les cartographies rapides à partir de données satellitaires sont utilisées directement après la gestion événementielle afin de caractériser l'impact (calcul des surfaces, analyse des secteurs et de la végétation brûlée, retour sur modélisation, retour sur gestion de l'événement - communication orale UIISC 7 et ENSOP/DDSC), notamment par le COGIC, la DDSC et les Préfectures des zones de défense françaises depuis 8 ans (SERTIT, 2005a, 2005b, 2009d, 2009e, 2010a, 2010b, 2011a, 2011b, 2006, 2006, 2007a, 2007b, 2008, 2009a, 2009b, 2009c).

La capacité actuelle des constellations de satellite ainsi que la réactivité des systèmes permettent actuellement des suivis des zones brûlées pendant l'événement. Ce fut le cas lors des feux de Piton Rouge et du Maido à la Réunion en 2011 (SERTIT, 2011a).

Le feu s'est déclaré le 25 octobre 2011 dans l'après-midi. 48h après le début de l'événement, la première cartographie de l'étendue de la zone brûlée et des points chauds était réalisée. Jusqu'au 2 novembre 2011, une cartographie journalière présentant l'étendue des feux, les feux actifs et l'impact des feux a été réalisée et mise à disposition des pompiers toutes les 24h, à 15h de l'après-midi CEST+1.



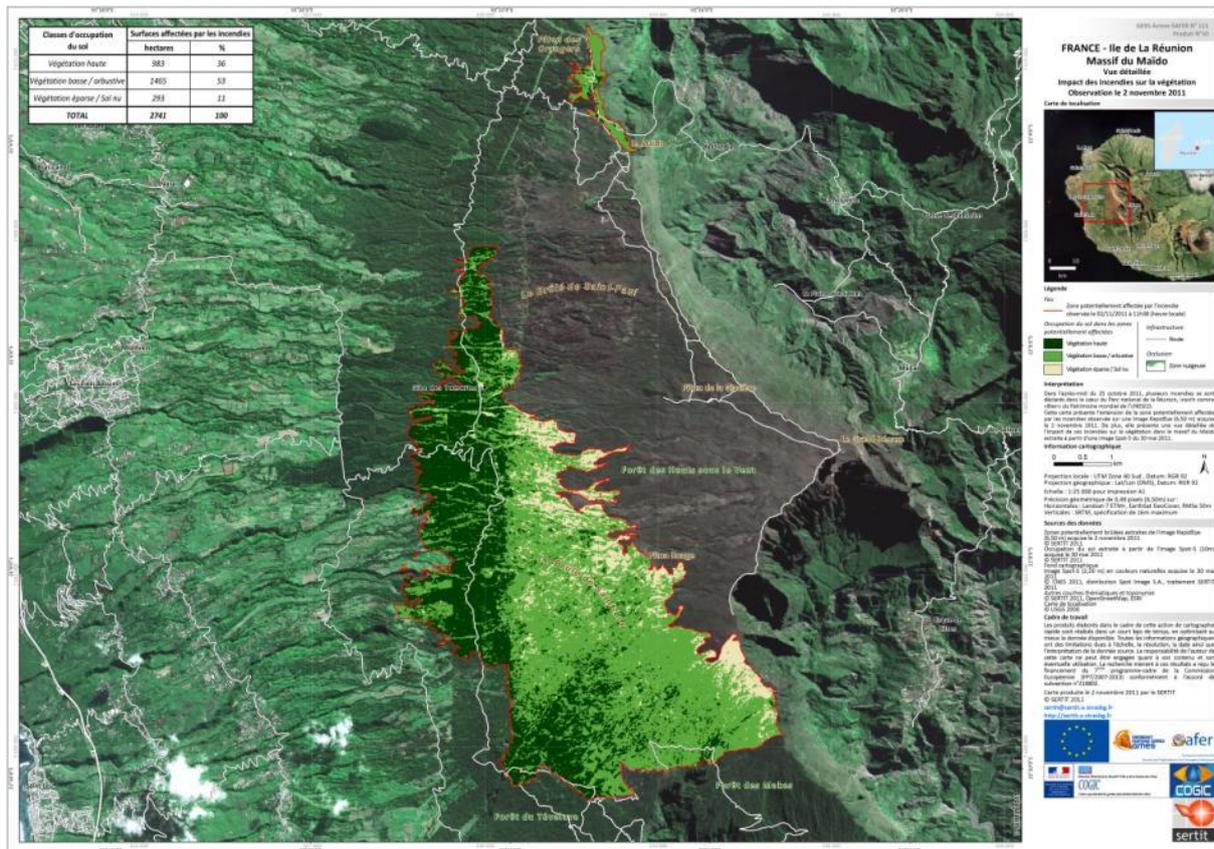


Figure 7 : Suivi journalier des feux de la Réunion en octobre 2011 et estimation des impacts (SERTIT, 2011a)

- **Précision de la détection des zones brûlées**

Les signatures spectrales des zones brûlées sont fortement discriminantes et sans ambiguïté (Razafimpanilo et al., 1995). La précision de l'estimation des zones brûlées dépendra essentiellement de la résolution des données exploitées pour leur cartographie.

Dans le cadre d'un suivi systématique des zones brûlées, la mise en place du dispositif dépend de :

- la définition de la précision souhaitée : quelle précision de l'impact est acceptable ?

La qualification de l'échelle de précision des résultats est communément donnée par (Commission de validation des Données pour l'Information Spatialisée, 2010):

$$Echelle = \frac{1}{5.10^{-4}r^{-1}}$$

Avec  $r$  la résolution du pixel de la donnée en mètres et  $Echelle$  le dénominateur de l'échelle d'utilisation des résultats.

Suivant cette relation, plus la résolution sera élevée, plus la surface brûlée sera précise en suivant une courbe bi-logarithmique.

De plus, la caractérisation sans ambiguïté d'une surface brûlée par l'expert (après les phases de traitements automatiques ou par photo-interprétation visuelle) nécessite qu'un cluster de pixels contigus présente une taille minimale, une forme caractéristique et une radiométrie déterminée.

Couramment, un minimum de 10 à 20 pixels contigus est nécessaire pour reconnaître un objet sans ambiguïté sur les images satellitaires.

Ces constatations permettent de dresser un tableau indiquant, en fonction de la résolution des données utilisée, l'échelle de précision des résultats ainsi que la taille des zones brûlées pouvant être reconnues. Complété avec les fréquences de revisite et les prix estimatifs des images, ce tableau permet déjà une présélection des capteurs pouvant être retenus dans le cadre de ce suivi.

**Tableau 4 : Relation entre la résolution des données et l'échelle et la taille des objets reconnus sans ambiguïté.**

Résolution	500 m	30 m	22 m	10 m	6,5 m	1,5 m	0,5 m
Echelle	1/1000000	1/60000	1/44000	1/20000	1/13000	1/3000	1/1000
Taille minimale de détection	[500 ha - 250 ha ]	[1,8 ha - 0,9 ha ]	[0,968 ha - 0,484 ha ]	[0,2 ha - 0,1 ha ]	[0,08 ha - 0,04 ha ]	[0,004 ha - 0,002 ha ]	[0,0005 ha - 0,0002ha ]
Fréquence d'acquisition	Quotidienne	16 jours	A la demande	A la demande	A la demande	A la demande	A la demande
Prix	×	×	\$	\$\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$

Ce tableau permet d'ores et déjà d'opérer une sélection de capteurs en fonction de la taille des surfaces brûlées, de l'échelle de restitution et du prix de la donnée :

- Pour une exploitation au 1/1 000 000 (échelle territoire) et des feux de grande importance (250 à 500 ha), les données moyennes résolution pourront être utilisées. Ces données sont gratuites et permettent en outre une vision quotidienne de l'évolution de ce type de feux ;
- Pour une exploitation au 1/50 000 (échelle infra-communale) et des feux de 0,5 à 1 ha minimum, des données haute résolution à 22 m seront préconisées ;
- Pour une exploitation au 1/15 000 (échelle locale) et des feux inférieur à 1 ha, des données haute résolution à 6,5 m seront préconisées. Du fait du coût de ces données, celles-ci seront à privilégier sur des secteurs particuliers dans le cadre d'analyses complémentaires (par exemple, sur les bordures de zones habitées) ;
- **Limites et contraintes dans le cas d'un suivi systématique**

Le suivi systématique des zones brûlées consiste en la délimitation de tous les secteurs brûlés d'une région donnée durant une période définie. Les notions d'espace et de temps diffèrent ici donc de la cartographie d'un événement particulier bien circonscrit dans le temps et dans l'espace.

De ce fait, la mise en place d'un suivi systématique des zones brûlées d'une région donnée doit prendre en compte de:

- la définition du caractère systématique du suivi : quelle résolution temporelle ?
- la dynamique du paysage et le rôle intrinsèque des feux : quels sont les impacts et leurs sévérités en fonction des paysages touchés?

Ces paramètres complètent la précision spatiale des relevés en termes de qualité du suivi systématique envisagé. Et de la définition de ces paramètres de suivi dépendra la mise en adéquation des moyens techniques par télédétection pour suivre l'étendue des zones brûlées en terme d'acquisition de données (exhaustivité des relevés). En rétroaction positive, les informations récoltées dans le cadre du suivi systématiques permettront d'affiner la connaissance des paysages

vis-à-vis de la dynamique des feux et ainsi de participer à court, moyen et long termes à l'amélioration des procédures de suivi.

Lors du projet « *Mangroves monitoring based on DEIMOS data time series in the South West Pacific: Application to New Caledonia* » (Bluecham SAS en partenariat avec l'IRD, l'UNC et le LATUV – Université de Valladolid en Espagne, soutenu par l'agence spatiale ElecnorDeimos), la base de données Deimos-1 (©ElecnorDeimos 2011 - 2012) a observé la saison des feux 2011 sur le secteur de Pouembout. Les feux de la Baie Blanche, couvrant 1200 ha de savane, végétation arbustive et forêt, sont intervenus entre le 11 novembre et le 17 novembre 2012 (Base de données feux MODIS) et 5 images couvrent la zone à partir de la situation avant le feu (septembre 2011) et jusqu'à 9 mois après les feux (juin 2012).

Cette série temporelle montre que l'impact du feu est observable directement après les feux mais que 9 mois après le feu, la végétation sur le secteur a repris estompant l'étendue de la zone brûlée. Celle-ci n'est plus identifiable par photo interprétation.

Le retour d'expérience de ces observations indiquent que l'observation et le levé d'un feu, même étendu, sur végétation de type savane est réalisable dans une fenêtre temporelle de quelques mois après le feu (< 9 mois). Dans le cadre d'un suivi des étendues brûlées sur ce type d'occupation des sols, une analyse à posteriori ne peut être réalisée et les observations satellitaires doivent être programmées avec un pas de temps inférieur à 9 mois (à minima tous les 6 mois). Ces observations sont en accord avec (Jacquin et al., 2011, Koffi et al., 1995) préconisant l'emploi de série temporelle d'images avant/après pour la détection des surfaces brûlées sur savane.

Sur substrat ultramafique, l'impact des feux sur la végétation reste visible plusieurs années après les incendies. Cela est observable sur la zone impactée par le feu de Méina Wâwièa Yaté (2004 - 2005). La signature de la zone brûlée est perceptible quelques années après le feu et l'impact sur la végétation est encore perceptible avec plus ou moins grande précision sur le secteur par des changements importants d'occupation du sol (base de données SPOT FOSTER - ISIS/CNES, © CNES 1999 – 2006, données Pléiades-1 acquise dans le cadre de la Recette en vol thématique en juillet 2012, © CNES 2012, Distribution Astrium Services / Spot Image S.A.).

- Sur les secteurs à substrat volcano-sédimentaire et plus particulièrement sur savane,
  - Il a été observée une disparition de la signature des feux en 9 mois ;
  - la reconquête par la végétation n'entraîne pas de changement de paysage décelable par photo-interprétation et par analyse du signal ;
  - le suivi par télédétection des zones brûlées nécessite une périodicité d'observation pluri-annuelle (semestrielle ou trimestrielle) ;
- Sur secteurs à substrat ultramafique,
  - la signature des zones brûlées est persistante dans le paysage plusieurs années après l'impact sur certains secteurs ;
  - le feu entraîne une modification de l'occupation du sol identifiable par images satellitaires à très haute résolution plusieurs années après les feux;
  - une observation sur une base annuelle est suffisante sur ces secteurs dans le cadre du suivi des zones brûlées

#### III.2.1.d. Estimation indirecte de l'étendue des feux

Plusieurs études ont été menées par télédétection pour identifier et cartographier les feux récents sur des périodes décennales (Minnich, 1983; Quintano et al., 2011; Sunderman and Weisberg, 2011) par l'exploitation de série temporelle de données. Les méthodes employées vont de l'analyse d'indices spectraux dérivés tels que le NDVI, le EVI, ou le Greeness Index (Minnich, 1983; Sunderman

and Weisberg, 2011) à des techniques de *data mining* sur série temporelle longue (Quintano et al., 2011) par reconnaissance de motifs d'évolution des clusters de classifications.

Les résultats sont variables selon le type de milieu considéré et les méthodes employées. Des méthodes basées sur l'exploitation d'indice permettent d'identifier les feux avec une précision de 75 % alors que les méthodes de *data mining* présentent des précisions thématiques de l'ordre de 94 à 98% (Minnich, 1983; Quintano et al., 2011; Sunderman and Weisberg, 2011).

Ce type d'approche permet en outre d'évaluer la reprise végétale sur les secteurs impactés et de déterminer le type de végétation à l'aide d'image très haute résolution récente (Mitri and Gitas, 2013).

Sur substrat ultramafique, l'estimation a posteriori des feux peut être réalisé par l'analyse des secteurs de maquis ligno-herbacé à fougère comme par exemple sur le secteur de Saint-Christophe (Yaté) touché par un feu en 2006 (base de données ISIS/CNES FOSTER).



Figure 8 : feu à Saint Christophe (Yaté) - vue 3D Qähnelö (Plateforme Qähnelö™ de la Mairie de Yaté) de l'image GeoEye-1 de juin 2010 sur MNT DITTT à 10 m. Le maquis ligno-herbacé à fougère suit l'empreinte du feu de 2006.

### III.2.1.e. Détection des zones brûlées par SAR

Dès les lancement des premiers capteurs radar (SAR), des études se sont intéressées à la signature rétrodiffusée par les zones brûlées (French et al., 1999) avec ce type de capteur permettant des acquisitions de jour comme de nuit et ayant un plus fort pouvoir pénétrant des nuages de fumées (Siegert and Hoffmann, 2000).

Ces premières études indiquent que le signal radar rétrodiffusé sur les surfaces brûlées est plus fort que sur les surfaces non brûlées ; et la rétrodiffusion est d'autant plus forte que l'angle d'incidence

est faible (French et al., 1999). Toutefois, en relief accidenté, la détection des zones brûlée peut être perturbée (Gimeno and San-Miguel-Ayanz, 2004).

Les méthodes d'analyse employées nécessitent des séries temporelles d'image radar et se base sur des méthodes de changement, des réseaux de neurones ou l'analyse de la cohérence interférométrique (Gimeno and San-Miguel-Ayanz, 2004; Siegert and Hoffmann, 2000; Tanase et al., 2010) avec des précisions pouvant aller jusqu'à 92% des zones brûlées détectées (Gimeno and San-Miguel-Ayanz, 2004).

Le radar offre également des applications prometteuses quant à la détermination de l'intensité de l'impact. En effet, la cohérence interférométrique montre une forte corrélation avec la sévérité des impacts. Cette corrélation est plus forte en radar bande L qu'en bande C ou X indépendamment de l'angle d'incidence et de la polarisation (0.9 en bande L pour 0.6 en bande C et X). Toutefois, avec des angles d'incidence faible, la corrélation entre cohérence interférométrique en bande X polarisation HH et en bande C polarisation HH atteint également 0.9 (Tanase et al., 2010).

Aussi, des études ont montré une forte corrélation entre la rétrodiffusion en bande C polarisation HH et le DDI (*Daily Drought Index*) couramment utilisé pour caractériser la propension de la végétation à s'embraser dans la modélisation du risque feu (Couturier et al., 2001).

Enfin des études de quantification de la biomasse lors de la reprise de la végétation sur des zones brûlées à l'aide de données RADARSAT en bande C ont donné des résultats satisfaisants (Minchella et al., 2009).

L'exploitation des données radar pour la détection et la délimitation des feux nécessite encore des développements méthodologiques afin d'être opérationnels dans le cadre de services opérationnels de suivi de l'impact environnemental des feux.

#### *III.2.1.f. Dispositifs opérationnels et futurs de suivi des feux par satellites*

Actuellement, plus de 80 capteurs satellitaires sont actifs et l'ensemble des capacités d'observation de la Terre civile proposent une base de données d'archives de 40 ans (ESA, 2013).

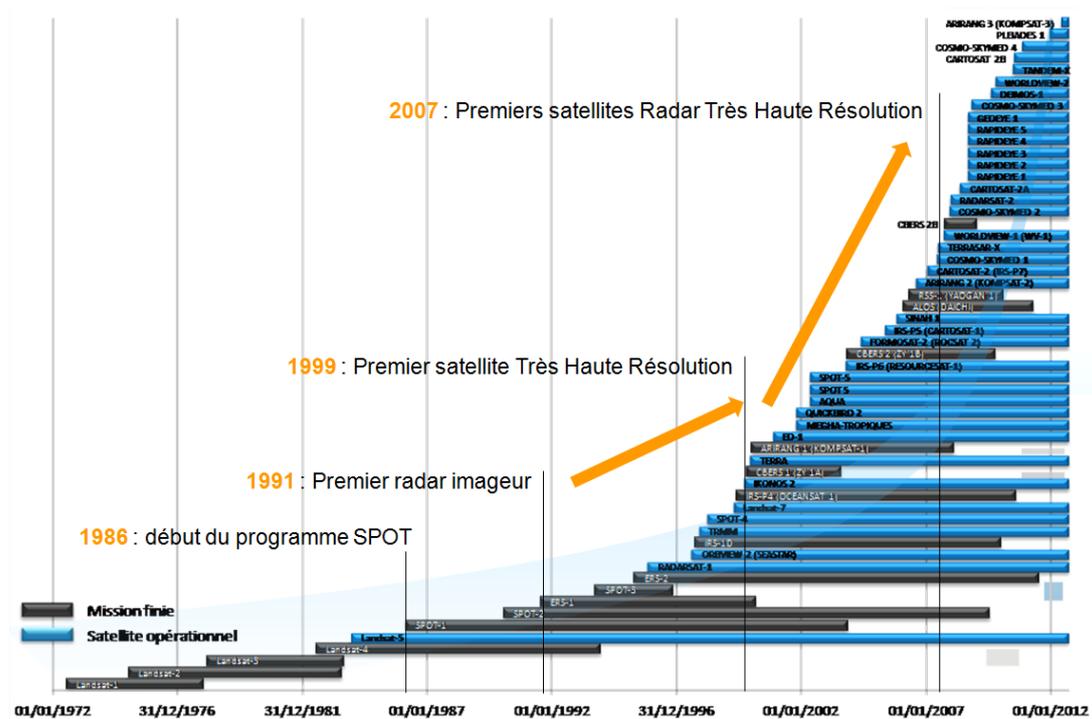


Figure 9 : Capacités d'observation de la Terre passées et actuelles.

• **Satellites et constellations opérationnels pour la détection des points chauds**

Pour la détection des points chauds, les capteurs satellitaires utilisés comprennent des bandes spectrales dans le moyen infrarouge et l'infrarouge thermique. Actuellement, 6 missions d'Observation de la Terre possèdent ces capacités et permettent des observation de la Nouvelle-Calédonie :

- Constellation NOAA/AVHRR, 6 satellites météorologiques actifs ;
- Constellation GOES, 4 satellites météorologiques actifs, dont 1 localisé sur la zone Pacifique ;
- Constellation Aqua/Terra, 2 satellites actifs multicapteurs embarquant le système MODIS et le système ASTER (satellite terra uniquement) ;
- Constellation Landsat, 3 satellites actifs (Landsat 5 en fin de vie, Landsat 7 en fin de vie, Landsat 8) ;
- Satellite EO-1 embarquant le système expérimental ALI.

La détection des points chauds nécessite des données à haute résolution temporelle afin d'assurer une revisite minimale journalière; Sur la Nouvelle-Calédonie, seules les constellations GOES, NOAA AVHRR et MODIS (dont les résolutions sont comprises entre 4000 et 250 m) permettent de tel suivi.

Tableau 5 : Synthèse des capteurs utilisés pour la détection des feux actifs, les capteurs surlignés en vert répondent aux caractéristiques requises pour le suivi

Mission	Date de lancement	Date prévue de fin de mission	Instruments
Landsat-5	01-mars-84	31-Dec-2012	TM
Landsat-7	15-Avr-1999	01-janv-17	ETM+
Landsat-8	13-Fev-13	Mai 2018	OLI, TIRS
NOAA-15	01-Mai-1998	31-Dec-2013	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/3
NOAA-16	21-sept-00	31-Dec-2013	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/3

NOAA-17	24-juin-02	31-Dec-2014	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/3
NOAA-18	20-Mai-2005	31-Dec-2015	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/4
NOAA-19	04-Feb-2009	01-mars-16	AVHRR/3, HIRS/4
Terra	18-Dec-1999	30-sept-13	ASTER, MODIS
NMP EO-1	21-nov-00	30-sept-13	ALI, Hyperion
GOES-12	23-juil-01	15-oct-13	Imager, Sounder
GOES-13	24-Mai-2006	01-juin-15	Imager, Sounder
GOES-14	27-juin-09	31-Dec-2019	Imager, Sounder
GOES-15	04-mars-10	01-janv-17	Imager, Sounder
Aqua	04-Mai-2002	30-sept-13	AIRS, AMSU-A, MODIS
Meteosat-8	13-Aout-2002	31-Dec-2019	SEVIRI
Meteosat-9	21-Dec-2005	31-Dec-2021	SEVIRI
Meteosat-10	05-juil-12	30-juin-20	SEVIRI
KALPANA-1	12-sept-02	09-Dec-2013	VHRR
INSAT-3A	04-Avr-2003	10-Avr-2013	VHRR
Aura	15-juil-04	30-sept-13	TES
FY-2D	08-Dec-2006	31-Dec-2013	IVISSR (FY-2)
FY-2E	26-Dec-2008	31-Dec-2013	IVISSR (FY-2)
FY-2F	13-janv-12	31-Dec-2016	IVISSR (FY-2)
Metop-A	19-oct-06	31-Dec-2013	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/4, IASI
Metop-B	17-sept-12	17-sept-17	AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/4, IASI
FY-3A	27-Mai-2008	31-Dec-2013	IRAS, MWRI, MWTS, VIRR
FY-3B	05-nov-10	31-Dec-2013	IRAS, MWRI, MWTS, VIRR
Meteor-M N1	17-sept-09	18-sept-14	MSU-MR, MTVZA
COMS	26-juin-10	01-Dec-2017	MI
Elektro-L N1	20-janv-11	01-Dec-2018	MSU-GS
SAC-D/Aquarius	10-juin-11	10-juin-17	NIRST
Sich-2	17-Aout-2011	17-Aug-2015	MIRS, MSS (Sich)
Suomi NPP	28-oct-11	07-mars-17	ATMS, VIIRS

Les données MODIS sont gratuites et d'accès aisées. Les données GOES et AVHRR sont également gratuites mais d'accès plus confidentiels (communauté météo et scientifique).

- **Satellites et constellations opérationnels pour la cartographie des zones brûlées**

Dans cette section, les satellites et constellation HR - haute résolution (résolution comprise entre 250 et 2.5 m) - et les satellites et constellations THR - Très Haute Résolution (résolution inférieure à 2.5m) - permettant le suivi des zones brûlées sont référencés (ESA, 2013).

**Tableau 6 : Synthèse des capteurs utilisés pour la détection des zones brûlées, les capteurs surlignés en vert répondent aux caractéristiques requises pour le suivi**

Mission	Date de lancement	Date prévue de fin de mission	Instruments
---------	-------------------	-------------------------------	-------------

ETUDE DE FAISABILITE POUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX  
 PROTOCOLE DE SUIVI OPERATIONNEL DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX

Landsat-5	01-mars-84	31-Dec-2012	TM	gratuit
Landsat-7	15-Avr-1999	01-janv-17	ETM+	Gratuit
Landsat 8	13-Fev-13	Mai 2018	OLI, TIRS	Gratuit
SPOT-4	24-mars-98	01-juin-13	HRVIR, VEGETATION	Restreint
SPOT-5	04-Mai-2002	01-juin-14	HRG, VEGETATION	Payant
SPOT 6	6-Sept-2012		HRG	Payant
Ikonos-2	24-sept-99	31-Dec-2012	MS, PAN	Payant
NMP EO-1	21-nov-00	30-sept-13	ALI, Hyperion	Gratuit
SAC-C	21-nov-00	01-janv-13	HRTC, MMRS	Payant
PROBA	22-oct-01	31-Dec-2012	CHRIS	Restreint
INSAT-3A	04-Avr-2003	10-Avr-2013	CCD camera	?
RESOURCESAT-1	17-oct-03	07-Dec-2013	AWiFS, LISS-III (Resourcesat), LISS-IV	Payant
RESOURCESAT-2	20-Avr-2011	20-Avr-2016	AWiFS, LISS-III (Resourcesat), LISS-IV	Payant
FORMOSAT-2	21-Mai-2004	31-Dec-2012	MS, PAN (FORMOSAT)	Payant
Resurs DK 1	15-juin-06	30-Dec-2013	Geoton-L1	
KOMPSAT-2	27-juil-06	27-juil-13	MSC	Payant
KOMPSAT-3	18-Mai-2012	18-May-2016	AEISS	Payant
FY-2D	08-Dec-2006	31-Dec-2013	IVISSR (FY-2)	Payant
FY-2E	26-Dec-2008	31-Dec-2013	IVISSR (FY-2)	Payant
FY-2F	13-janv-12	31-Dec-2016	IVISSR (FY-2)	Payant
IMS-1	28-Avr-2008	28-Dec-2013	MxT	?
FY-3A	27-Mai-2008	31-Dec-2013	VIRR	Payant
FY-3B	05-nov-10	31-Dec-2013	VIRR	Payant
RapidEye	29-Aout-2008	30-Aout-2015	MSI	Payant
HJ-1A	06-sept-08	01-sept-13	CCD (HJ), HSI (HJ-1A)	Payant
HJ-1B	06-sept-08	01-sept-13	CCD (HJ), IR (HJ-1B)	Payant
THEOS	01-oct-08	01-oct-13	MS (GISTDA), PAN (GISTDA)	
UK-DMC2	29-juil-09	29-juil-14	SLIM-6-22	Payant
Deimos-1	29-juil-09	29-juil-14	MS	Payant
Meteor-M N1	17-sept-09	18-sept-14	KMSS, MSU-MR	?
COMS	26-juin-10	01-Dec-2017	MI	?
Sich-2	17-Aout-2011	17-Aout-2015	MIRS, MSS (Sich)	?
NigeriaSat-2	17-Aout-2011	17-Aout-2018	NigeriaSat Medium and High Resolution	Payant
RASAT	17-Aout-2011	17-Aout-2014	RASAT VIS Multispectral, RASAT VIS Panchromatic	?
Suomi NPP	28-oct-11	07-mars-17	VIIRS	Restreint
Pleiades 1A& 1B	17-Dec-2011	31-Dec-2016	HiRI	Payant
ZY-3	09-janv-12	08-juin-17	MUX (ZY-3)	Payant
RISAT-1	26-Avr-2012	26-Avr-2016	SAR (RISAT)	?
Kanopus-V N1	22-juil-12	22-juil-19	MSS (Kanopus), MSU-200, PSS	?

Quickbird-2	18 Oct 2001	Oct 2006	PMS	Payant
Worldview-2	8 oct 2009	Jan 2017	PMS	Payant
GeoEye-1	6 sept 2008	Sept 2015	PMS	Payant

Actuellement, plus la résolution des satellites est élevée, plus la superficie (fauchée) observée sera réduite. Ainsi, dans le cadre d'un suivi il est intéressant de privilégier des données proposant un rapport résolution / couverture d'image intéressant.

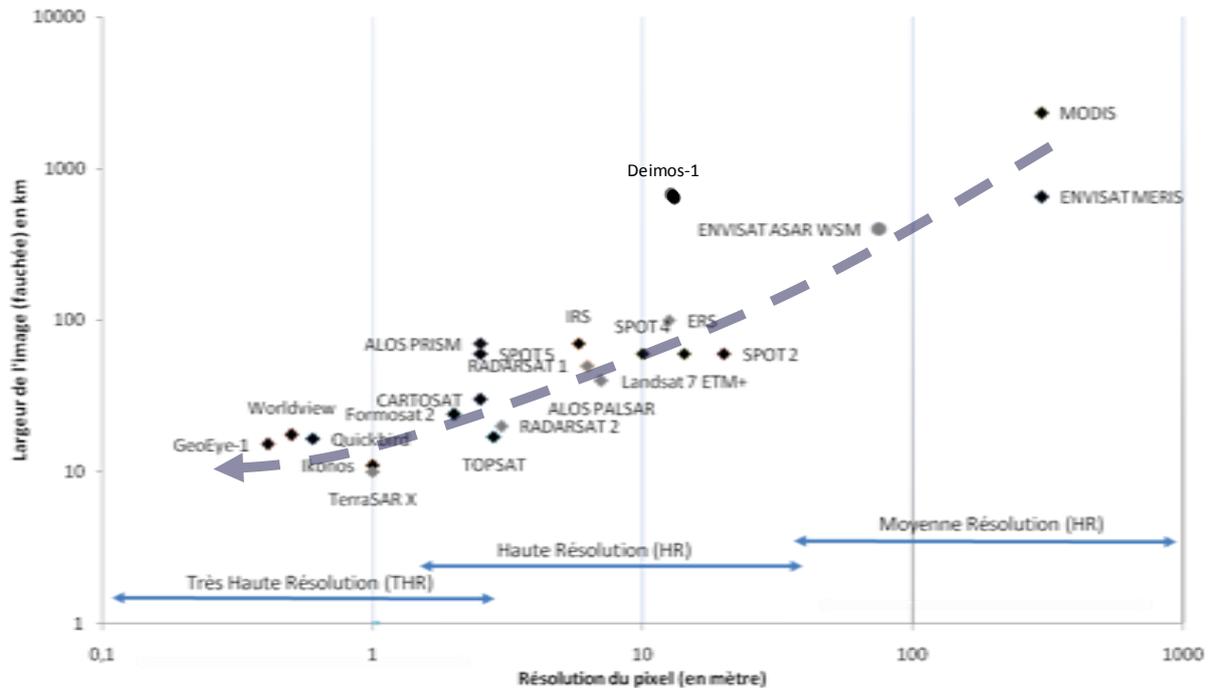


Figure 10 : Lien fauché et résolution des capteurs

Les données Deimos-1, de résolution 22 m et pouvant faire des captures de plus de 600 km de fauchée est le satellite HR présentant le meilleur rapport résolution / taille de couverture. De même, les données RapidEye, avec une résolution de 6.5 m et une fauchée de 77 km, présente un excellent rapport résolution / fauchée. De plus, RapidEye est une constellation de 5 satellite permettant une revisite journalière. Enfin, le satellite Formsat, avec une résolution de 2 m et une fauchée de 24 km présente l'avantage de pouvoir faire une acquisition sur la Nouvelle-Calédonie tous les jours.

Dans le cas de focalisation sur certains événements particuliers, les constellations Très Haute résolution 50 cm DigitalGlobe (Quickbird, Worldview-1 & 2, GeoEye-1) et 70 cm Pleiades (1A et 1B) permettent des analyses à petite échelle et haute précision.

- **Satellites et constellations radar opérationnelles**

Dans cette sections, les satellites et constellation radar opérationnels permettant le suivi des zones brûlées sont référencés (ESA, 2013).

La constellation COSMO-Skymed présente l'avantage d'une revisite accrue en très haute résolution radar (1 m) par l'exploitation de 4 satellites. Le système TerraSAR-X et TanDEM-X permet quant à lui des acquisitions interférométriques sur la même orbite.

Tous les capteurs Radar sont actuellement payants.

Tableau 7 : Synthèse des capteurs radar utilisés pour la détection des zones brûlées

Mission	Date de lancement	Date prévue de fin de mission	Instruments
RADARSAT-1	04-nov-95	31-mars-15	SAR (RADARSAT)
RADARSAT-2	14-Dec-2007	17-Avr-2015	SAR (RADARSAT-2)
COSMO-SkyMed 1	08-juin-07	08-juin-14	SAR 2000
COSMO-SkyMed 2	09-Dec-2007	09-Dec-2014	SAR 2000
COSMO-SkyMed 3	25-oct-08	25-oct-15	SAR 2000
COSMO-SkyMed 4	06-nov-10	06-nov-17	SAR 2000
TerraSAR-X	15-juin-07	31-Dec-2013	X-Band SAR
TanDEM-X	21-juin-10	31-Dec-2015	X-Band SAR
NigeriaSat-X	17-Aug-2011	17-Aug-2018	NigeriaSat Medium Resolution
RISAT-1	26-Avr-2012	26-Avr-2016	SAR (RISAT)

- **Continuité des missions et futurs dispositifs**

L'analyse de la continuité des missions est un paramètre essentiel dans le cadre de la mise en place d'un dispositif opérationnel. Cette analyse permet de proposer une méthodologie basée sur une mission existante dont la continuité est assurée dans les années à venir par le remplacement du capteur actif par un système identique ou de caractéristiques similaires.

Dans cette analyse, nous avons intégré les missions spatiales approuvées entre 2013 et 2033 des 34 agences spatiales mondiales suivantes :

Tableau 8 : Agences Spatiales mondiales

Agences	pays	Agences	pays
ASI		METI	
CAST		NASA	
CDTI		NASRDA	
CNES		NOAA	
CONAE		NRSCC	
CRESDA		NSAU	
CSA		NSC	
CSIRO		NSMC-CMA	
DLR		ROSHYDROMET	
EC		ROSKOSMOS	
ESA		SANSA	
EUMETSAT		SNSB	
GISTDA		TUBITAK	
INPE		UKSA	
ISRO		USGS	
JAXA		DIGITALGLOBE	



Les missions planifiées et considérées (à l'étude) mais non approuvées ne sont ici pas listées.

**Tableau 9: futures missions approuvées entre 2013 et 2033, les capteurs surlignés en vert répondent aux caractéristiques requises pour le suivi**

Type de mesures	Mission	Date de lancement	Date de fin de mission	Mission Instruments
Détection des points chauds	GISAT	01-Dec-2015	01-Dec-2024	HRMX-TIR
Détection des points chauds	GOES-R	01-oct-15	01-mars-25	ABI
Détection des points chauds	GOES-S	01-Feb-2017	01-oct-28	ABI
Détection des points chauds	GOES-T	01-Avr-2019	01-juil-33	ABI
Détection des points chauds	GOES-U	01-oct-24	01-oct-38	ABI
Détection des points chauds	JPSS-1	01-janv-17	01-mars-24	VIIRS
Détection des points chauds	JPSS-2	01-Feb-2023	01-juil-30	VIIRS
Détection des points chauds	SAC-E/SABIA_MAR-A	14-sept-16	14-sept-21	HSC
Détection des points chauds	SAC-E/SABIA_MAR-B	01-nov-17	01-nov-22	HSC
Détection des points chauds	Sentinel-3 A	30-Avr-2014	30-Aug-2021	SLSTR
Détection des points chauds	Sentinel-3 B	31-oct-14	28-Feb-2022	SLSTR
Détection des points chauds	Worldview-3	2013		P+MS 16 bands (MIR)
Zone brûlée	ALOS-2	31-Dec-2013	31-Dec-2018	PALSAR-2 (ALOS-2)
Zone brûlée	AMAZONIA-1	01-Dec-2014	01-Dec-2017	AWFI
Zone brûlée	Arctica	31-Dec-2015	31-Dec-2018	MSU-GS
Zone brûlée	CBERS-3	01-Feb-2013	01-Feb-2016	IRS, MUX, PAN (CBERS), WFI-2
Zone brûlée	CBERS-4	01-juin-14	01-juin-17	IRS, MUX, PAN (CBERS), WFI-2
Zone brûlée	CSG-1	01-juin-15	01-juin-22	SAR-2000 S.G.
Zone brûlée	CSG-2	01-juin-16	01-juin-23	SAR-2000 S.G.
Zone brûlée	Elektro-L N2	01-Dec-2013	01-nov-18	MSU-GS
Zone brûlée	EnMAP	01-Aug-2016	31-juil-21	HSI
Zone brûlée	FY-3C	01-juil-13	01-juil-16	VIRR
Zone brûlée	FY-4A	31-Dec-2014	31-Dec-2017	MCSI
Zone brûlée	GCOM-C1	31-Dec-2015	31-Dec-2020	SGLI
Zone brûlée	GEO-KOMPSAT-2A	15-May-2017	01-janv-24	Advanced MI
Zone brûlée	GISAT	01-Dec-2015	01-Dec-2024	HYSI-SWIR
Zone brûlée	GOES-R	01-oct-15	01-mars-25	ABI
Zone brûlée	GOES-S	01-Feb-2017	01-oct-28	ABI
Zone brûlée	GOES-T	01-Avr-2019	01-juil-33	ABI
Zone brûlée	GOES-U	01-oct-24	01-oct-38	ABI
Zone brûlée	HJ-1C	30-nov-12	30-nov-14	S-Band SAR
Zone brûlée	Ingenio	15-janv-14	15-janv-21	PAN+MS (RGB+NIR)
Zone brûlée	JPSS-1	01-janv-17	01-mars-24	VIIRS
Zone brûlée	JPSS-1	01-janv-17	01-mars-24	VIIRS
Zone brûlée	JPSS-2	01-Feb-2023	01-juil-30	VIIRS
Zone brûlée	JPSS-2	01-Feb-2023	01-juil-30	VIIRS

Zone brûlée	KOMPSAT-3A	15-May-2014	13-May-2018	AEISS-A
Zone brûlée	KOMPSAT-5	30-mars-13	30-mars-17	COSI
Zone brûlée	Meteor-M N2	01-Feb-2013	01-Feb-2018	KMSS, MSU-MR
Zone brûlée	Meteor-M N2-1	01-Dec-2014	01-Dec-2019	KMSS, MSU-MR
Zone brûlée	Meteor-M N2-2	01-Dec-2015	01-Dec-2020	KMSS, MSU-MR
Zone brûlée	Metop-C	02-Avr-2016	01-Dec-2021	AVHRR/3
Zone brûlée	MIOSAT	01-juin-14	01-juin-16	ALISEO
Zone brûlée	MTG-I1 (imaging)	21-Dec-2018	29-juin-26	FCI
Zone brûlée	MTG-I2 (imaging)	27-juin-22	01-janv-31	FCI
Zone brûlée	MTG-I3 (imaging)	12-janv-26	10-juil-34	FCI
Zone brûlée	MTG-I4 (imaging)	24-juin-31	31-Dec-2038	FCI
Zone brûlée	PAZ	31-Dec-2013	31-Dec-2018	Paz SAR-X
Zone brûlée	PRISMA	01-juin-14	01-juin-19	HYC
Zone brûlée	RADARSAT C-1	01-Aug-2016	01-Dec-2023	SAR (RCM)
Zone brûlée	RADARSAT C-2	01-Dec-2017	01-mars-25	SAR (RCM)
Zone brûlée	RADARSAT C-3	01-Dec-2017	01-mars-25	SAR (RCM)
Zone brûlée	Resurs P N1	01-May-2013	01-May-2018	Geoton-L1
Zone brûlée	SAC-E/SABIA_MAR-A	14-sept-16	14-sept-21	MUS-M
Zone brûlée	SAC-E/SABIA_MAR-B	01-nov-17	01-nov-22	MUS-L
Zone brûlée	SAOCOM 1A	21-Dec-2014	21-Dec-2019	SAR-L
Zone brûlée	SAOCOM 1B	21-Dec-2015	21-Dec-2020	SAR-L
Zone brûlée	Sentinel-1 A	30-oct-13	31-janv-21	C-Band SAR
Zone brûlée	Sentinel-1 B	31-janv-15	01-May-2022	C-Band SAR
Zone brûlée	Sentinel-2 A	30-juin-14	27-sept-21	MSI (Sentinel-2)
Zone brûlée	Sentinel-2 B	31-May-2015	30-Aug-2022	MSI (Sentinel-2)
Zone brûlée	Sentinel-3 A	30-Avr-2014	30-Aug-2021	OLCI
Zone brûlée	Sentinel-3 B	31-oct-14	28-Feb-2022	OLCI
Zone brûlée	VENUS	30-juin-13	30-juin-16	VSC
Zone brûlée	Worldview-3	2013	-	P+MS 16 bands

Il ressort de cette analyse que 65 futurs capteurs ont été approuvés pour les 20 prochaines années. 12 présentent la capacité de détecter les points chauds et 53 permettront de suivre les zones brûlées.

Les missions météorologiques GOES et AVHRR sont maintenues jusqu'en 2024. Les satellites de la constellation Sentinel (2 et 3) seront lancés à partir de 2014 et prendront la suite de la mission MODIS avec une amélioration des résolutions spatiales des capteurs (10 à 60 m).

Au vu de l'exploitation opérationnelle des bases de données de points chauds par satellite (Gouvernement fédéral Australien; Gouvernement des Etats-Unis; Union Européenne, etc.), les services de détection des points chauds font l'objet de programmes futurs tel que le projet FireBird de l'Agence spatiale allemande.

La mise en place de chaîne de traitement de détection des points chauds peut être réalisée localement à l'aide des algorithmes existants. La phase la plus délicate de celle-ci consistera en l'accès et aux conditions d'accès aux données satellitaires auprès des agences concernées.

Il est important de noter que :

- La constellation actuelle GOES et AVHRR sont approuvées et perdurons dans les 20 prochaines années ;
- la mission Landsat est prolongée jusqu'en 2017 avec le lancement l'année dernière de Landsat 8 (dont la phase de commissionnement vient de s'achever) ;
- la mission SPOT est continuée mais à l'initiative de EADS ASTRIUM avec les satellites SPOT 6 et 7. Ceux-ci présentent une modification de la charge utile avec l'abandon du capteur moyen infrarouge au profit d'un capteur THR à 1.5 m de résolution en 4 bandes RVB et proche infrarouge ;
- il n'est actuellement pas prévu de continuité de la mission MODIS (mission duale Terra et A-Train, la mission A-Train devrait être reconduite sur les thématiques atmosphériques) ;
- la constellation Sentinel de l'ESA sera lancée à partir de 2013 et, basée sur les expertises MERIS et MODIS, devrait remplacer la mission Aqua/Terra MODIS (Sentinel 2A et 2B). Il est à noter qu'un changement de revisite par rapport à MODIS est à prévoir (revisite tous les 5 à 2 jours) et une amélioration de la résolution (de 10 m à 60 m avec Sentinel contre 250 à 1000 m avec MODIS);
- le capteur Worldview-3, lancé en 2013, remplacera le satellite Quickbird-2 et permettra, à très haute résolution, d'accéder à des informations dans le moyen infrarouge grâce à 8 bandes supplémentaires par rapport à Worldview-2.

*III.2.1.g. Programmes d'accès aux données satellitaires pour le suivi des feux*

- **La charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures**

#### **Objectifs**

Depuis la fin de l'année 2000, la Charte Internationale « Espace et Catastrophes Majeures » met à disposition des organisations de protection, de défense, de sécurité civile et de secours du monde entier les ressources des agences spatiales signataires. L'objectif est de faire bénéficier gratuitement la communauté internationale du potentiel d'information offert par l'imagerie spatiale en cas de désastre majeur, ceci au travers d'un guichet d'entrée unique mobilisant de façon prioritaire les moyens spatiaux. A l'heure actuelle, 15 agences spatiales sont membres de la Charte: la NOAA (USA), ISRO (Inde), CONAE (Argentine), JAXA (Japon), CNSA (Chine), USGS (USA), DMC International Imaging (UK), FKA (Russie), KARI (Corée), INPE, CNSA (UE), DLR (Allemagne) ayant rejoint les membres fondateurs : le CNES (France), l'ESA (l'agence spatiale européenne) puis CSA (Canada). Des accords spécifiques lient également des sociétés privées telles que DigitalGlobe (satellite Quickbird, Worldview et GeoEye-1) à la Charte (Andreoli et al., 2008).

#### **Produits accessibles**

Ainsi, les moyens spatiaux associés à la Charte par l'intermédiaire de ces agences spatiales sont des systèmes optiques – SPOT, IRS, SAC-C, POES, GOES, ALOS, MERIS, Landsat, constellation DMC, les séries de satellites chinois FY, SJ et ZY – et les plates-formes radar – ERS, ENVISAT, ALOS et RADARSAT.

#### **Contexte d'utilisation**

Entre novembre 2000 et septembre 2008, la Charte internationale a été déclenchée à plus de 196 reprises pour des catastrophes naturelles ou technologiques de tous types : séismes, éruptions volcaniques, glissements de terrain, inondations, cyclones et tempêtes, feux de forêts, pollutions marines, tsunamis, explosions. Le déclenchement de la Charte augmente constamment pour atteindre, ces deux dernières années, près de 4 déclenchements par mois (Andreoli et al., 2008).

La Charte Internationale ne prévoit pas le mode d'exploitation des données satellites brutes qu'elle met à disposition des services de gestion de crise. Dans la pratique, les agences spatiales participent souvent à l'élaboration de l'information de crise. Cette valeur ajoutée est réalisée en interne ou déléguée à un opérateur spécialisé (Andreoli et al., 2008).

### Qui est concerné par ce projet ?

Les entités concernées par la Charte sont des utilisateurs autorisés et recensés au *board* de la Charte. Pour la France, les utilisateurs autorisés sont la sécurité civile représentée par le COGIC.

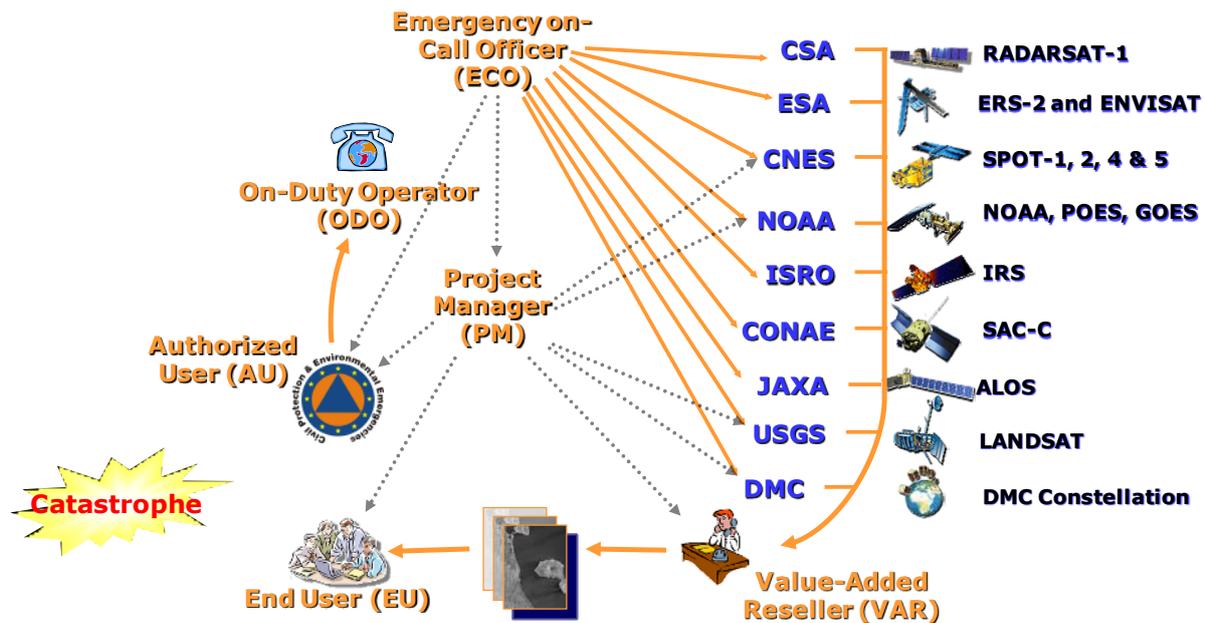


Figure 11 : Schéma de l'activation de la charte internationale

La Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures est un dispositif opérationnel d'accès aux données pour la gestion des crises. Elle s'adresse avant tout aux opérationnels durant les premières phases de survenance d'une catastrophe. L'accès aux données est réservé aux utilisateurs autorisés par la Charte.

- **GEOSUD**

#### Objectifs

Le projet GEOSUD est une infrastructure nationale d'imagerie satellitaire pour la recherche sur l'environnement et les territoires et ses applications à la gestion et aux politiques publiques.

#### Qui est concerné par ce projet ?

- Les laboratoires et Etablissement public de recherche et enseignement supérieur
- Les services de l'Etat et Etablissements publics de l'Etat (hors recherche et enseignement)
- Les collectivités territoriales et établissements publics locaux
- Autres adhérents (associations, enseignement secondaire, etc.)

#### Procédure de demandes d'acquisition d'images & produits accessibles

Outre l'accès gratuit via le portail [geosud.teledetection.fr](http://geosud.teledetection.fr) aux couvertures annuelles nationales et à certaines couvertures régionales d'archive, GEOSUD propose aux acteurs publics trois services complémentaires concernant l'imagerie.

### 1. Acquisitions GEOSUD « à la demande »

L'EQUIPEX GEOSUD a la possibilité de donner suite à des demandes particulières d'acteurs publics pour l'acquisition de différents types d'imagerie :

- imagerie haute résolution (5m – 10m) à des dates particulières
- imagerie Très Haute Résolution (Pléiades 0,7m)
- imagerie radar (type TerraSAR ou COSMO-SkyMed, bande X, à partir de 1m)
- imagerie sur des Pays du Sud dans le cadre de partenariats scientifiques ou pour le développement
- autres types d'images (thermique, hyperspectral,...)

Les budgets EQUIPEX dédiés à ces acquisitions sont limités. Des règles spécifiques seront définies pour chacun de ces types d'images et les demandes des adhérents à GEOSUD seront arbitrées en conséquence : il y sera donné suite dans la mesure des possibilités du projet, et a minima les adhérents pourront être conseillés dans leurs stratégies d'acquisition (modèles de cahiers des clauses techniques particulières ; modèles de marchés, ...).

Ce dispositif se veut complémentaire de dispositifs existants et opérationnels (CNES ISIS, CNES « barème services non marchands » ; IGN ; ESA EOLISA,...).

### 2. Versement dans la base de données images GEOSUD, d'images acquises par les acteurs publics

Les acquisitions d'images en multi licences effectuées par des acteurs publics adhérents à GEOSUD peuvent être versées à la base de données images mutualisée.

### 3. Acquisition en achat partagé Acteur Public – GEOSUD

Certains acteurs publics adhérents à GEOSUD ont acquis ou envisagent d'acquérir des images en mono-licence pour leurs besoins propres. GEOSUD peut, dans des cas pertinents, prendre en charge l'extension de licence (surcoût de la multi-licence « tous acteurs publics » par rapport à la mono-licence).

GEOSUD peut permettre l'accès à de l'imagerie satellitaire HR ou THR optique, le radar est plus difficilement accessible (Suivis ou surveillance particuliers, périodes à fortes nébulosités, usages à fins de démonstration, besoin d'accès rapide à la donnée...)<sup>2</sup>. Néanmoins cette source de données est à considérer comme opportuniste, en support d'autres sources d'informations car :

- le projet est limité dans le temps (2011 - 2016) concernant les acquisitions,
- et d'une réactivité relative vis-à-vis de l'acquisition et la mise à disposition des données et ne peut pas donc pas être une base pour un suivi sur le long terme.

---

<sup>2</sup>Geoseminaire 2013 L'imagerie Geosud : usages et besoins de données et de services.

- **ISIS/CNES**

Le programme ISIS vise à promouvoir l'utilisation de l'imagerie spatiale SPOT auprès de la communauté scientifique en lui permettant d'acquérir ces données satellitaires à un tarif préférentiel.

**Qui est concerné par ce projet ?**

Ce programme est accessible à tout chercheur et étudiant travaillant dans un laboratoire ou un institut d'enseignement supérieur de l'Union Européenne. Les données Spot obtenues via ISIS restent réservées à une utilisation purement scientifique ou visant à démontrer l'apport de l'imagerie spatiale pour la mise en œuvre de GMES (Global Monitoring for Environment and Security).

Pour être éligible, il faut :

- Travailler au sein d'un laboratoire ou d'un institut d'enseignement supérieur de l'Union Européenne en tant que chercheur, enseignant ou étudiant.
- Travailler sur un projet scientifique, de recherche ou de démonstration dans le cadre de l'initiative européenne GMES. Le programme ISIS n'a pas pour vocation de soutenir les projets à caractère opérationnel. Ceux-ci peuvent sous certaines conditions solliciter auprès de Spot Image l'acquisition de leurs données via la procédure "Services non marchands".

**Produits accessibles :**

Le programme ISIS propose les produits SPOT suivants:

- SPOT scene
- SPOT view
- SPOT 3D: DEM et Reference 3D
- SPIRIT

Les projets ISIS du CNES ne sont accessibles que dans le cas d'un projet de Recherche. Le programme ISIS n'a pas pour vocation de soutenir les projets à caractère opérationnel.

- **CAT 1 ESA**

**Objectifs**

En plus de fournir aux utilisateurs des données de ses propres satellites d'observation de la Terre - les missions ERS-1 et 2 et Envisat, the Earth Explorers et les futurs Sentinels de GMES - l'Agence spatiale européenne (ESA) a longtemps fourni aux utilisateurs un accès à un certain nombre de missions-non ESA, appelées «Third Party Missions» (TPM).

Deux catégories sont actuellement définies pour ces projets :

- Catégorie 1: Recherche et applications utilisation de développement de données à l'appui des objectifs de la mission, y compris la recherche sur des questions à long terme des sciences de la Terre, la recherche et le développement en cours de préparation pour une utilisation opérationnelle future et l'utilisation interne ESA. Les données pour la catégorie 1 sont directement fournies par l'ESA au coût de reproduction (sauf dérogation accordée par les États membres de l'ESA dans un avis d'offres).
- Catégorie 2: Toutes les autres utilisations, qui n'entrent pas dans la catégorie 1, y compris des utilisations opérationnelles et commerciales. Les données fournies pour la catégorie 2 sont distribués par les revendeurs désignés de l'ESA selon leur propre politique de prix.

À l'heure actuelle, ALOS et Landsat sont les seuls capteurs dont les données TPM sont disponibles en catégorie 2, toutes les autres données TPM étant disponible pour une utilisation en projet de catégorie 1.

### **Qui est concerné par ce projet ?**

Il n'y pas de limite sur le type d'organisme en tant que PI (Principal Investigator) sollicitant le projet mais sur des critères propre au projet.

Les critères suivants sont utilisés dans le processus d'évaluation:

- Adéquation de la proposition selon les conditions d'utilisation des données ESA et ESA « Third Party Mission »,
- Pertinence du projet par rapport aux objectifs de la mission EO (Earth Observation) de l'ESA,
- Le mérite du projet d'un point de vue scientifique, technologique, économique et opérationnel ainsi que le degré d'innovation de la proposition,
- La faisabilité technique de finaliser le projet et d'obtenir des résultats positifs dans une période de deux ans, avec un focus particulier sur la pertinence et la faisabilité du calendrier présenté dans la proposition.

**Produits accessibles :**

**Products systematically generated and available via fast registration - release 6th September 2013**

Mission	Sensor	Product	Internet	
			Archived or Reprocessed	NRT and Recent
ENVISAT	ASAR	ASA_WV_1P	Full mission	
		ASA_WVS_1P	Full mission	
		ASA_WVW_2P	Full mission	
	MERIS	MER_RR_1P	Full mission	
		MER_RR_2P	Full mission	
		MER_RRC_2P	Included in MER_RR_2P	
		MER_RRV_2P	Included in MER_RR_2P	
		MER_LRC_2P	Included in MER_RR_2P	
	AATSR	ATS_TOA_1P	Full mission	
		ATS_NR_2P		
		ATS_AR_2P		
		ATS_NET_2P		
	Altimeter	ATSUPA-L2P/UPA-L3U	Full mission	
		RA2_GDR_2P	Full mission	
	Atm. Chemistry	RA2_MAS_2P	Full mission	
		SCI_NL_1P	Full mission	
		SCI_OL_2P	Full mission	
		MP_NL_1P	Full mission (with gaps)	
		MP_NL_2P	Full mission (with gaps)	
		GOM_TRA_1P	Full mission	
		GOM_LM_1P	Full mission	
		GOM_NL_2P	Full mission	
		GOM_EXT_2P	Full mission	
DORIS	DOR_DOP_1P	Full mission		
	DOR_VOR_AX	Full mission		
ERS	AWI	MWS_VLC	Full mission	
		WSC_UW	From 16/12/2006 FDC and ASPS products	
		SWM_WVS, SWM_WWV	Reprocessed until 17/01/2007	
		SWM_WVI	Reprocessed until 17/01/2007	
		SWM_UWA	From 16/12/2006, FDC products	
	GOME	GOM_LVL1	Full mission	
		GOM_LVL2	Full mission	
	Altimeter	ALT_GPR	Full mission	
		ALT_WAP	Full mission	
	ATSR	AT1_TOA_1P and AT2_TOA_1P	Full mission	
AT1_NR_2P and AT2_NR_2P				
Orbit	AT1_AR_2P and AT2_AR_2P	Full mission		
	ORB_PRC			
	ORB_PRL			
GOCE	SST	ORB_POD	July 1995 to June 2010	
		SST_NOM_1B	At available data	
		SST_RM_1B		
	SST_PSO_2			
	EGG	EGG_NOM_1B		
		EGG_NOM_2		
		EGG_TRF_2		
EGM_GOC_2				
SMOS	MIRAS	EGM_GVC_2		
		Level 1, Level 2 and browse products	All available data via EOLI-SA	
Auxiliary data	AUX_ECMWF			
CRYOSAT	SIRAL	SIR_SAR_1B	All available data	
		SIR_SAR_2A		
		SIR_SIN_1B		
		SIR_SIN_2		
		SIR_LRM_1B		
		SIR_LRM_2		
		SIR_GDR_2A		
TPM	PALSAR (ALOS)	ALOSPALSAR_WB1 L1.5 IPY Antarctica	Cycle 21 - 24 and 27 - 31	
		PROBACHRS_1A	All available data, including recent	
	Chris. HRC (Proba-1)	PROBAHRC_1A	All available data, including recent	
		MSS (Landsat 1-5)	LANDSAT_MSS_GTC (GEC)	European and Member campaigns (gradually available)
	TM (Landsat 4, 5)	LANDSAT_TM_GTC (GEC)		
	ETM+ (Landsat 7)	LANDSAT_ETM_GTC (GEC)		
	TM (Landsat 4, 5)	LANDSAT_TMSYC	Selected European coverage	
	ETM+ (Landsat 7)	LANDSAT_ETMSYC		
	QU-TIRS (Landsat 8)	QU-TIRS_L1T (L1gT)	All available data, including recent acquisition over Europe	
	EOC (Kompsat-1)	KOMP_EOC_ECD	City dataset	
	FTS, MAESTRO (ACE-Sat)	ACE_FTS_L2V1.0	Full mission	
		ACE_FTS_L2V2.2	Full mission	
		ACE_MAESTRO_L2V1.1	Full mission	
	MODIS (Terra/Aqua)	Terra-Aqua MODIS_1B	European (covering last 18 months)	
	SeaWinds (QuikSCAT)	QSCAT_Level 2A	Full mission	
QSCAT_Level 2B		Full mission		
GOSAT	FTS/CAI Level 1, Level 2 and Level 3	Full mission (EOLI-SA)	Last 4 months	
ODIN	OSIRS Level 1 and Level 2	All available data, including recent		
	SNR Level 1 and Level 2	All available data, including recent		
GRACE	Level 1B and Level 2	All available data, including recent		

Figure 12 : Produits générés et directement accessibles par le système « Fast registration » de l'ESA CAT1

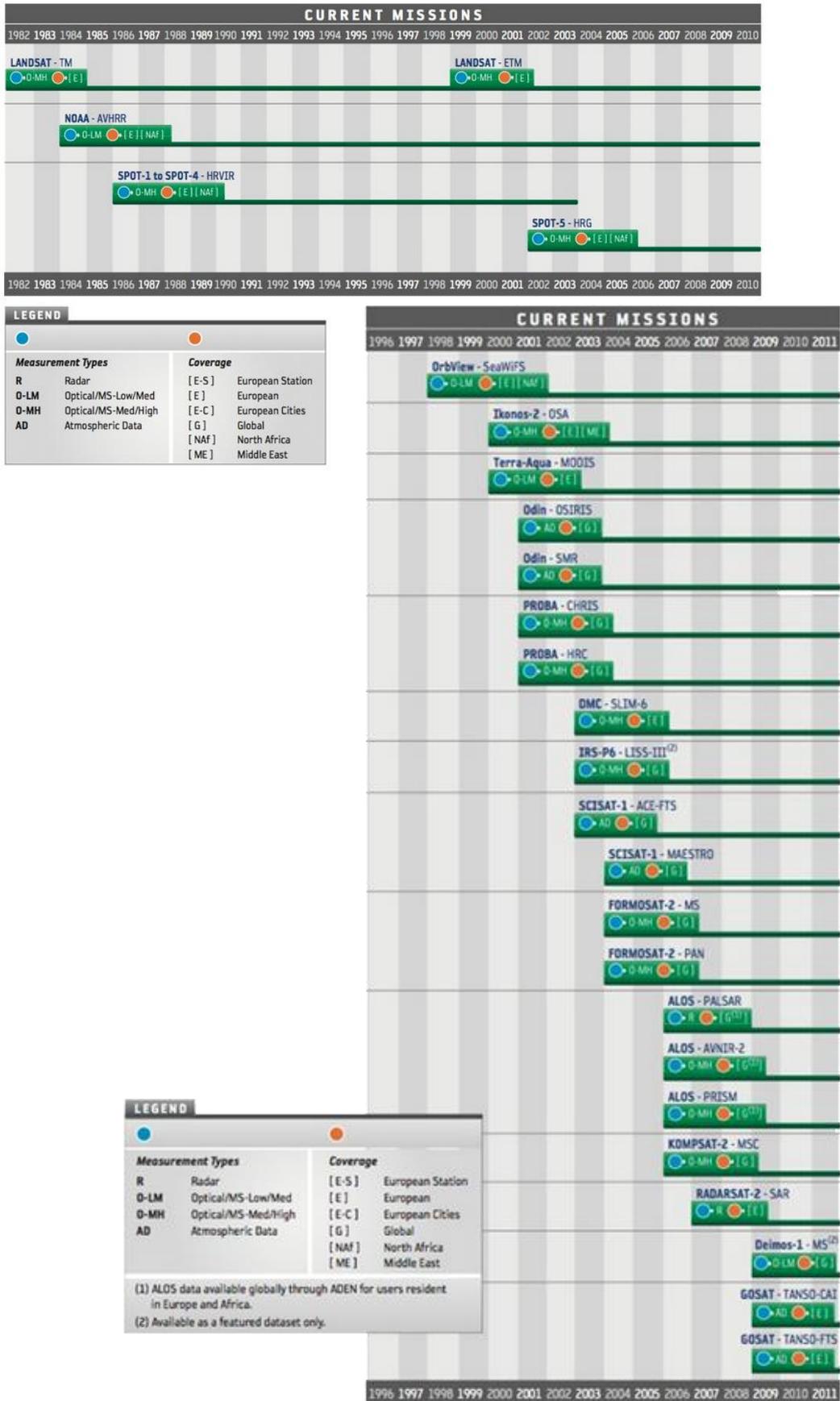


Figure 13 : Produits accessibles sur demande de l'ESA CAT 1

### Procédure de récupération et de demandes d'acquisition d'images

Une simple inscription en ligne est tout ce qui est nécessaire pour les données qui sont systématiquement acquises, créées et diffusées en ligne. La notification d'acceptation de l'inscription est envoyée dans un délai de deux jours ouvrables.

Une proposition devrait être soumise lorsque la donnée requiert une acquisition spécifique ou soumis à des contraintes de diffusion. La proposition est soumise à un processus d'examen et une notification est envoyée à l'utilisateur après environ six à huit semaines. La proposition est définitivement acceptée lors de la confirmation de la faisabilité en termes de fourniture des données et de services.

Un quota de produits est attribué au projet et une notification est fournie indiquant si des demandes d'acquisition spécifiques peuvent être effectuées ou s'il n'est permis que l'accès aux produits archivés.

Parfois l'ESA publie des avis d'offres (AO) soit pour les nouvelles missions spécifiques ou pour des sujets de recherche spécifiques. Si le projet rentre dans le sujet couvert par l'AO, des données supplémentaires peuvent être acquises.

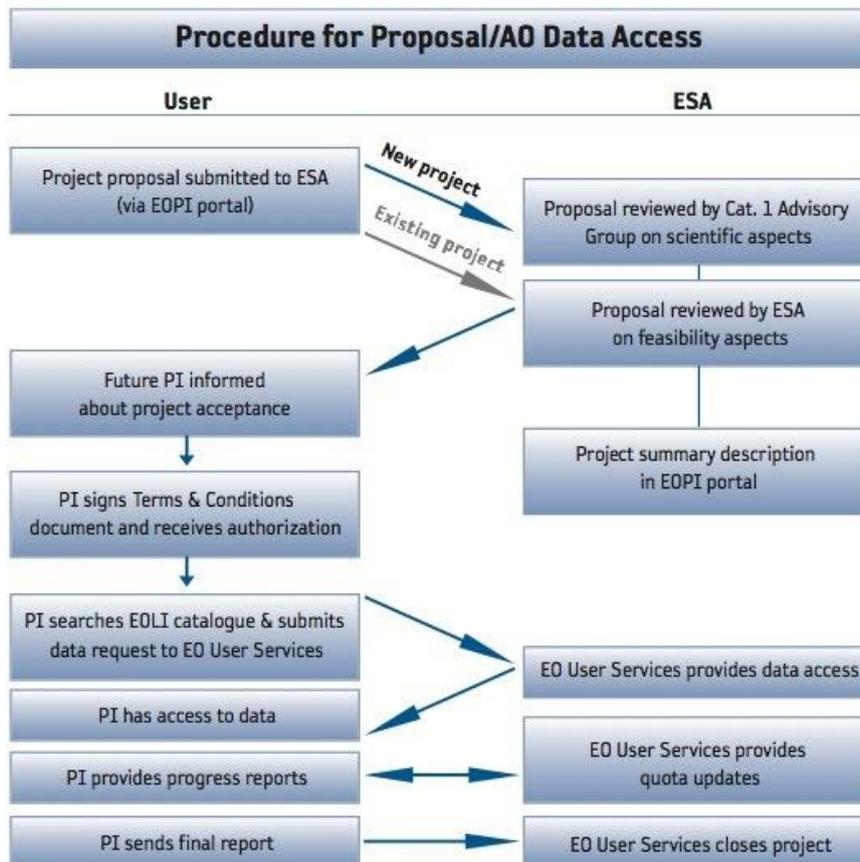


Figure 14 : Procédure pour les projets CAT 1 de l'ESA

Les projets Cat 1 de l'ESA représente une source intéressante de données historique et multi - résolution. Mais de la même manière ce programme **n'a pas pour vocation de soutenir les projets à caractère opérationnel.**

- **Autres sources de donnée : Gouvernement (DTSI / DITTT) et GIE SERAIL**

Des organismes locaux réalisent régulièrement des acquisitions de données sur les territoires d'intérêt de l'OEIL :

- DTSI : couvertures satellitaires sur l'ensemble du territoire ou sur des secteurs spécifiques;
- DITTT : couvertures aériennes sur l'ensemble du territoire découpé en zone de mise à jour en rotation sur 5 ans ;
- Le GIE SERAIL : couvertures aériennes annuelles sur le Grand Nouméa.

Ces couvertures pourraient également être exploitées dans le cadre du suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux en fonction des droits et licences accordées à chaque couverture.

### *III.2.2. Suivi participatif des feux actifs*

#### *III.2.2.a. Analyse de cas existants*

#### **University of British Columbia<sup>3</sup>**



Les scientifiques, spécialisés en télédétection, utilisent des données recueillies par les capteurs embarqués sur des satellites et des avions afin d'en savoir plus sur les environnements forestiers dans le monde entier. Ces points de vue uniques fournissent aux chercheurs des informations précieuses sur la santé des forêts, la croissance des forêts, les perturbations des forêts (tels que les incendies et les attaques d'insectes)... Cependant, ces dispositifs de télédétection

aérienne et spatiale ont une capacité limitée à fournir des informations sur les zones inférieures des couverts forestiers ou les zones à canopées denses. Par exemple, les troncs d'arbres abattus et la végétation des strates inférieures sont des éléments importants de caractérisation de la forêt en termes d'habitat de la faune, mais il peut être difficile de mesurer ces derniers avec satellites. En conséquence, la collecte de ces mesures doit être faite par les personnes sur le terrain, ce qui est évidemment plus long et coûteux. En conséquence, ces mesures sont généralement très limitées en termes d'étendue géographique.

Les scientifiques de l'Université de la Colombie-Britannique ont alors essayé d'imaginer un moyen de collecter rapidement et facilement des mesures à partir du terrain, et de les utiliser en combinaison avec les données de télédétection aérienne et spatiale, dans le but de fournir une meilleure compréhension de la façon dont les milieux forestiers évoluent

En juillet 2012, une application mobile a été développée qui permet aux utilisateurs de prendre des photos de zones forestières avec les coordonnées GPS et de les télécharger dans une base de données. L'application peut être utilisée par des propriétaires aussi bien que par les professionnels du feu pour aider à construire un ensemble d'informations afin d'identifier des zones potentiellement dangereuses.

---

<sup>3</sup><http://www.govtech.com/wireless/Forest-Fire-Prevention-Crowdsourcing-App.html>

« Nos principaux objectifs sont non seulement d'utiliser la technologie pour développer des approches fournissant des données informatives sur les forêts, mais aussi d'impliquer de manière plus significative un grand nombre de personnes dans la recherche scientifique et la gestion des forêts par des approches communautaires. »

### **BushfireConnect**



Après plus de 6 mois de préparation, en Février 2011, <http://bushfireconnect.org>, un site à but non lucratif a été déployé ayant comme objectif de pouvoir alerter et partager des informations (hyper)locales sur les feux de brousse en Australie.

Géré entièrement par des bénévoles, BushfireConnect (BFC) intègre des rapports des citoyens avec des informations officielles, et permet à quiconque de s'inscrire pour recevoir des alertes personnalisées par e-mail ou SMS.

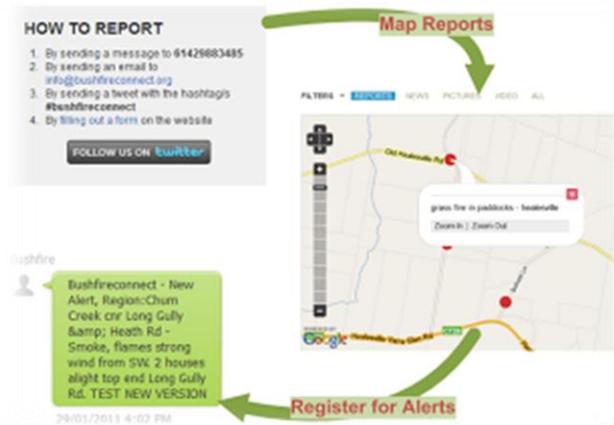
Ce projet conçu initialement pour la région de Victoria peut être utilisé sur la côte ouest australienne et notamment pour les incendies dévastateurs qui faisaient rage autour de Perth (6 février 2011). Le trafic vers le site est à son apogée attire des centaines de visiteurs uniques sur son premier jour de l'action.

Ce site communautaire a été fermé le 26/10/2012, par manque de moyen, après deux ans de collecte et de partage d'informations sur les feux de brousses.

#### *Retour d'expérience*

Les premiers volontaires se sont impliqués à la construction d'un prototype lors d'une manifestation à Sydney en Juin 2010 (Sydney's Random Hacks of Kindnessevent). Au début de 2011, BushfireConnect est devenu un site «live», avec un petit nombre de modérateurs bénévoles, surveillant les médias sociaux, et examinant les rapports communautaires soumis directement au site. Le « baptême du feu » a été le Roleystone-KelmscottFire en février 2011 en Australie occidentale.

BushfireConnect était unique car il combinait plusieurs canaux d'information: collecte « crowdsourcing » d'informations sur le feu par SMS et Twitter, qui est alors modéré et cartographié, et ensuite envoyé comme des alertes (par courriel ou SMS) aux utilisateurs qui se sont inscrits sur le site. Ce service était gratuit et les filtres effectués par la modération rendaient les alertes pertinentes et fiables.



La contribution et l'engagement déployés par les bénévoles a été conséquente. Pour que BushfireConnect soit opérationnel et efficace, ils ont dû :

- Mettre en place l'infrastructure (déploiement effectif du système),
- gérer un service actif en permanence tout au long de la saison des incendies (animation du dispositif).

Pour fournir un service national 7j/7, 24h/24 en temps de crise, le projet a nécessité une petite équipe à temps plein, ce qui n'était pas durable sur une base purement volontaire. Ils ont essayé, sans succès, un système de parrainage, et ont réussi à obtenir à deux reprises une subvention du gouvernement de Victoria.

#### The Early Warning Network<sup>4</sup>

The Early Warning Network (EWN) - Le Réseau d'Alerte Précoce fournit des alertes d'urgence pour les orages, la grêle, les feux de brousse, les inondations, les cyclones tropicaux, les tsunamis, pluies torrentielles, les vents destructeurs et autres menaces. EWN surveille et suit les systèmes météorologiques potentiellement dangereux. Il utilise le réseau pour alerter les gens directement de la trajectoire d'un événement. Il s'agit d'un service commercial à destination des institutions publiques, les entreprises du bâtiment, la mine ou encore les assurances. Certains services sont gratuits comme des applications mobiles, permettant de recevoir des alertes en fonction de sa géolocalisation.

#### Incident Alert<sup>5</sup>

Incident Alert donne accès à des mises à jour sur les incendies et des incidents sur la zone de Victoria et l'Australie du Sud. Les alertes sont disponibles via email, SMS, Twitter et contient un module de cartographie en temps quasi réel. Ce service est payant.

<sup>4</sup>[http://www.ewn.com.au/situation\\_room/bushfires.aspx](http://www.ewn.com.au/situation_room/bushfires.aspx)

<sup>5</sup><http://www.incidentalert.com.au/iav5/>

### III.2.2.b. Cas d'un déploiement en Nouvelle-Calédonie

La synthèse de ces cas ainsi que la récente publication de l'OEIL (L'OEIL magazine N°6 Septembre 2013 à avril 2014 – Sentinelles de la biodiversité : Les observateurs des suivis participatifs), permet de faire ressortir un certain nombre de points à ne pas négliger pour un déploiement sur le territoire d'un tel outil de suivi participatif.

1. Le pas d'un temps d'un tel suivi doit être le quasi temps réel, contrairement à d'autres problématiques dont les observations ne nécessitent pas une transmission rapide de l'information car ils s'inscrivent dans une gestion sur le long terme (exemple : suivi des récifs coralliens).
2. Une des tendances fortes actuelles pour les suivis participatifs est de s'appuyer sur les technologies mobiles. Les smartphones deviennent de plus en plus répandus et permettent notamment d'accéder facilement à des données de localisation.
3. La technologie 3G n'est pas encore « intégrée » dans le paysage calédonien. Il est nécessaire de diversifier les sources d'informations (SMS & réseaux sociaux).
4. Cette multiplication des sources d'information doit être modérée par une personne ressource, permettant le croisement d'informations et donc une fiabilité accrue de l'information.
5. Il est important de réfléchir un retour de l'information à destination des utilisateurs/observateurs du suivi (système d'alertes à partir des rapports d'incident).
6. Il doit y avoir une personne partiellement dédiée à la gestion des données du suivi participatif durant la saison des feux.
7. Une campagne de communication doit accompagner le déploiement de l'information afin de porter à la connaissance du grand public le suivi participatif mais aussi afin de trouver les fonds potentiellement nécessaires pour le maintien d'un service actif et robuste.

La présente étude n'a pas vocation à fournir des spécifications précises et techniques pour cet outil. Un suivi participatif est une source potentielle d'informations non négligeable, mais la mise en place d'un tel suivi est un projet à part entière à développer en lien avec les instances en charge de la sécurité civile.

#### *Les feux de brousse dans Géorep<sup>6</sup>*

*04 octobre 2013*

*En réaction aux violents incendies d'espaces naturels de fin 2005, qui ont concerné plus de 17.000 hectares, ont menacé des personnes et des biens et ont emporté des effets irréversibles sur la qualité des milieux naturels et le maintien de la biodiversité originelle de la Nouvelle-Calédonie. L'État, la Nouvelle-Calédonie, les provinces, les communes et les organisations non gouvernementales de la place ont souhaité renforcer leur collaboration dans les actions de prévention, de prévision et de lutte contre les feux de forêt, mais également dans des actions de répression, de normalisation et de sensibilisation des populations. Cet outil doit permettre à tout citoyen de localiser un incendie et donc de contribuer à la réponse ORSEC. Les services publics ont également vocation à l'utiliser, l'explorateur constituant un socle commun.*

---

<sup>6</sup><http://georep.nc/actualites.html>  
[http://explorateur-carto.georep.nc/?app\\_carto=securite\\_civile\\_nc](http://explorateur-carto.georep.nc/?app_carto=securite_civile_nc)

### III.2.2.c. Proposition d'un flux de travail

Ce schéma propose un flux de travail concernant le suivi participatif des feux en Nouvelle-Calédonie. Il s'appuie sur les constats développés plus haut :

- la multiplicité des sources (types et origines),
- la nécessité de s'assurer de la qualité de l'information (modération des contenus par des personnes qualifiées et le recoupement par croisement des sources d'informations),
- le besoin de réfléchir dans ce flux aux retours à effectuer vers les utilisateurs/observateurs du suivi.

Il sera aussi important de penser à une taxonomie/ catégorisation des alertes : différenciation des milieux menacés...

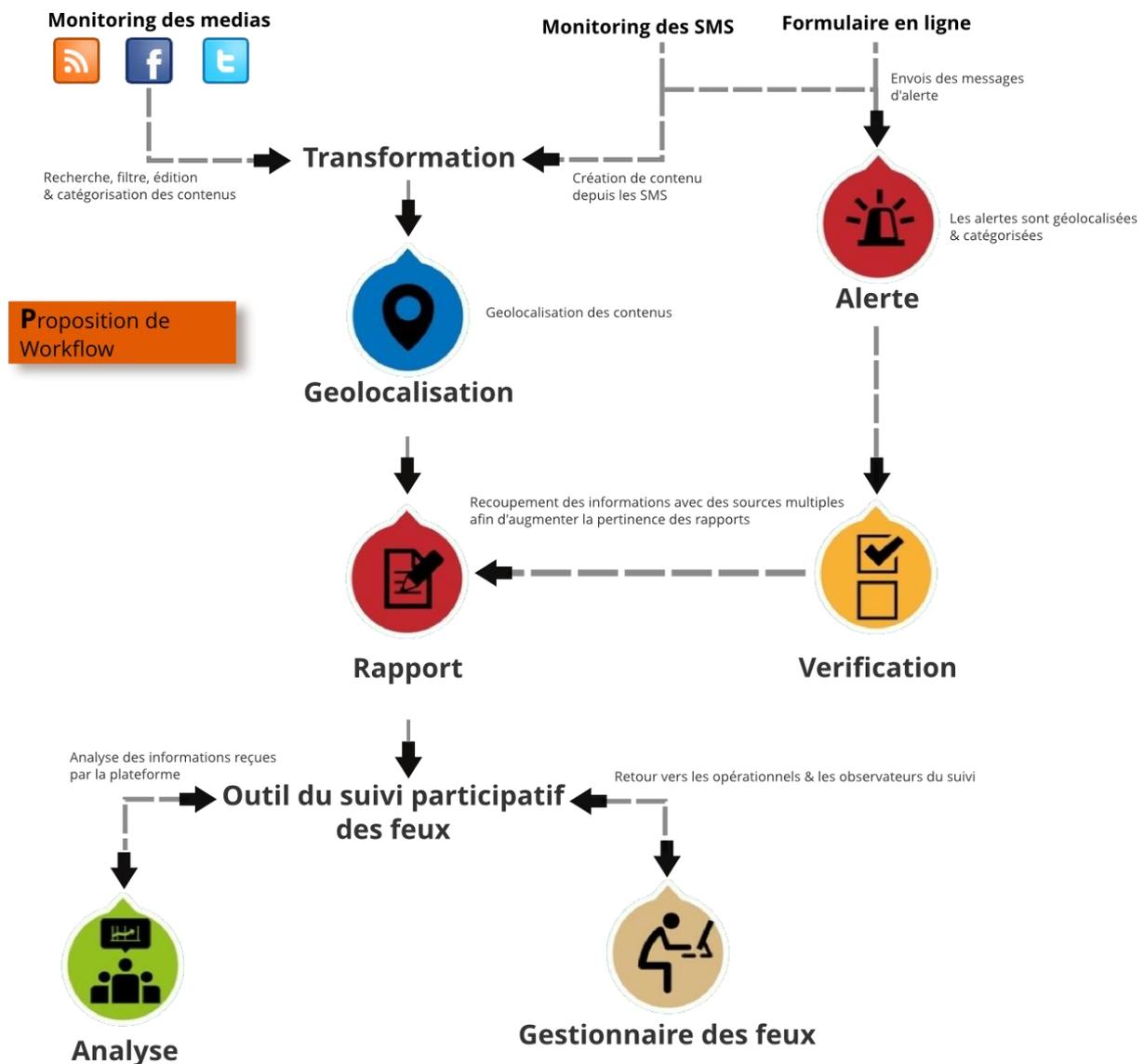


Figure 16 : Proposition de « workflow » pour le suivi participatif des feux

### III.2.3. Synthèse et protocole d'acquisition des données pour le suivi de l'impact environnemental des feux

#### III.2.3.a. Structuration du suivi

La mise en place d'un suivi systématique doit être définie selon une granularité et des jalons temporels précis qu'il convient d'expliciter :

- Le suivi est actif et continu dans le temps ;
- Le suivi est continu sur sa zone géographique d'intérêt ;
- Le suivi se décompose en cycle structuré par :
  - Un début ;
  - Une fin ;
  - Plusieurs périodes de collecte de l'information ;
  - Des livrables (indicateurs) structurés dans le temps.
- Les cycles se succèdent de manière répétitive afin d'assurer la continuité du suivi.

La proposition méthodologique suivante s'appuie sur des cycles annuels dont le point de départ est Août. Ce cycle est basé sur les observations de la dynamique des feux faites dans le lot 1 – paragraphe : Dynamique des feux en Nouvelle-Calédonie. L'hypothèse d'une fin de la saison des feux est faite pour la période de janvier.

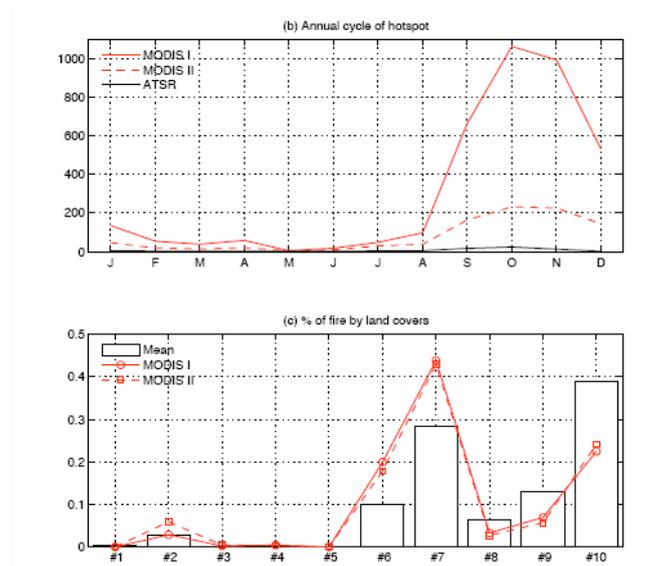


Figure 17 :Occurrence des points chauds "feu" de la base de donnée MODIS I, MODIS II et ATSR par mois (Barbero et al., 2011).

### III.2.3.b. Collecte des données

Durant un cycle, plusieurs informations seront collectées afin de répondre aux besoins exprimés (Lot 1) et la création des indicateurs (Lot 2). Les périodes de collecte de l'information sont variables en fonction du type de données collectées :

Tableau 10 : type, origine et fréquence de collecte des données pour le suivi

Type de donnée collectée	Localisation des feux	Surfaces brûlées	Typologie de la végétation
Type de collecte	Continue	Discontinue	Discontinue
Période de collecte	Pendant tout le cycle sans interruption	Après la saison des feux	Avant le début de la saison des feux
Sources	CFF988 MODIS Suivi participatif (CSI)	Données satellitaires	Données satellitaires

La localisation des feux est réalisée de manière continue sur toute la durée du cycle en intégrant en une base de données unifiée les données multi sources de recensement des feux :

- Recensement effectué par la CFF988 ;
- Données MODIS ;
- Données issues du suivi participatif ;
- Données autres (CSI par exemple).

Durant la période des feux, l'acquisition de données satellitaires peut être réalisée selon deux protocoles :

- Une acquisition effectuée en fin de saison des feux permettant d'obtenir une vue représentative de la saison des feux passée ;
- De l'acquisition ciblée sur les événements.

De manière optimale et suite aux observations faites dans le paragraphe II.2.1.c , deux acquisitions de données satellitaires sont nécessaires à la réalisation du suivi de l'impact environnemental des feux :

- Une première acquisition de la zone de suivi directement après la saison des feux afin de procéder à l'inventaire des surfaces brûlées directement après les feux. De plus, cette acquisition sera prise en compte dans la consolidation du recensement des feux ;
- Une seconde acquisition de la zone de suivi en fin de cycle / début de cycle (mai/juin) suivant afin de caractériser la typologie de la végétation et dériver les indicateurs d'impact et de successions végétales. De plus, cette seconde acquisition sera prise en compte dans la consolidation du recensement des feux en permettant d'intégrer les éventuels feux intervenant hors saison des feux.

### *III.2.3.c. L'accès aux données satellitaires*

Dans le cadre de ce protocole, l'accès aux données satellitaires en temps réel ou quasi-réel n'est pas justifié puisque l'objectif de ce suivi n'intègre pas les phases opérationnelles de lutte contre les feux. De ce fait, les perspectives d'installation locales d'infrastructures de réception des données satellitaires ne seront pas abordées.

Les données des points chauds doivent être collectées, traitées et archivées en continu dans le cadre du suivi. Actuellement, les points chauds MODIS sont mis à disposition :

- Quelques heures après le passage du satellite (env. 2h actuellement);
- Sans interruption de service (le service a été maintenu malgré le *shutdown* du Gouvernement Américain de 2013).

Les données de suivi des surfaces brûlées et de mise à jour de la typologie de la végétation seront mises à disposition :

- Deux fois par an, après acquisition et réception des données par l'organisme gestionnaire du suivi ;
- Par des processus standard d'acquisition de données satellitaires :
  - Programmation des données auprès des agences
  - Acquisition des images
  - Réception par FTP ou DVD
  - Traitements préparatoires (orthorectification, calibration).

### *III.2.3.d. Livrables*

Deux jalons comprenant des livrables différents peuvent être mis en place :

- Un jalon intermédiaire à la fin de saison des feux fournissant les indicateurs :
  - De localisation des feux non consolidé ;
  - De surfaces impactées non consolidé ;
- Un jalon de bilan de l'impact environnemental des feux à chaque fin de cycle fournissant :
  - l'ensemble des données consolidées nécessaires aux calculs des indicateurs ;
  - l'ensemble des indicateurs d'impact pour le cycle passé.

### *III.2.3.e. Calendrier des actions*

En fonction de ces périodes d'acquisition de données et des jalons des livrables, le flux de travail dans le temps et durant chaque cycle peut être décomposé comme suit (cf figure suivante) :

- **Recensement de la localisation des feux** en continu sur chaque cycle par les différentes sources disponible (CF988, MODIS, autre) ;
- **Détermination des surfaces brûlées** à partir de l'image acquise post saison des feux ;
- Consolidation du recensement et de la localisation des feux par croisement des données multi-sources (terrain et satellitaires) ;
- Détermination de **la typologie de la végétation** en fin de cycle à partir de l'image satellitaire acquise en fin de cycle ;
- **Consolidation du recensement et de la localisation des feux** par croisement des données multi-sources (terrain et satellitaires) ;
- **Consolidation des surfaces brûlées** par croisement des données satellitaires et prise en compte des feux hors saison des feux ;
- **Création des indicateurs** de suivi de l'impact environnemental des feux.

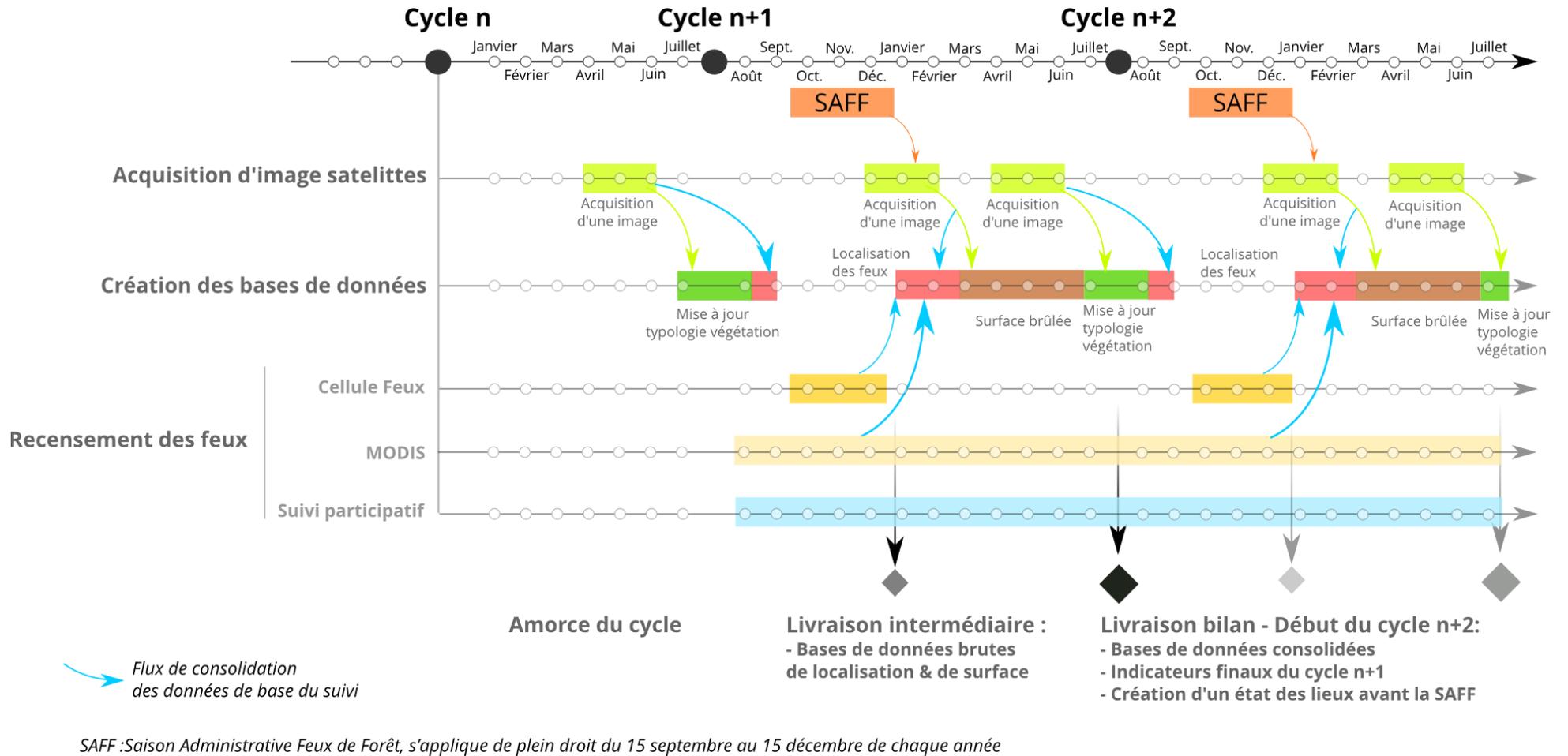


Figure 18 : Proposition d'une méthode systématique d'acquisition de donnée pour le suivi de l'impact environnemental des feux

Les données et les indicateurs utilisés et créés dans le cadre du suivi de l'impact environnemental des feux sont des informations géographiques (composante spatiale et géolocalisée) hétérogènes (Images satellitaires, points de terrain, données issues d'analyse, indicateurs spatiaux), et de sources variées.

Afin de garantir l'automatisation et l'optimisation des phases de traitement de l'information, il sera nécessaire de veiller à la structuration et à la conformité des données, de leurs métadonnées et de leurs formats selon des standards internationaux :

- Données géographiques : standards OGC (<http://www.opengeospatial.org/standards/is>)
- Métadonnées : Directive INSPIRE (<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>)

De plus, le suivi de l'impact environnemental des feux vise différents acteurs dont l'organisation technique et logicielle est hétérogène. La structuration des données devra également permettre l'interopérabilité des données et des résultats avec les architectures et trames existantes. Il n'existe pas à proprement parlé de référentiel sur les données en lien avec la gestion des feux, mais il existe néanmoins un travail de convergence vers une trame commune menée par la DTSI pour la CFF988. Les données générées par le suivi de l'impact des feux doit être au maximum compatible avec cette dernière.

#### ***III.2.4. Structuration des données de localisation des feux***

Les données de recensement et de localisation des feux issues des recensement effectués par la CFF988, par le suivi MODIS et par d'autres sources de données telles que le suivi participatif ou les CSI seront intégrées et unifiées au sein d'une base de donnée commune.

Chaque nouveau relevé sera une entrée nouvelle dans la base de données.

#### ***III.2.5. Structuration des données complémentaires acquises par satellites***

##### *III.2.5.a. Données satellitaires*

Les données satellitaires acquises lors du suivi seront structurées dans une série temporelle de données satellitaires. Afin d'assurer la continuité du suivi, l'analyse rétroactive des données et une utilisation optimale des données, celles-ci doivent être orthorectifiées, calibrées en radiométrie et archivées de manière systématique.

Dans le cadre du protocole proposé et afin d'optimiser l'enveloppe budgétaire, nous considérons l'achat des données satellitaires sous la forme de licence standard mono-utilisateur. Ce type de licence n'inclut pas la distribution publique des données satellitaires. Aussi la structuration de la base de données d'images satellitaires n'a pas vocation à la diffusion de celle-ci.

Nous préconisons néanmoins l'organisation de la base de donnée selon une structure minimale permettant de :

- Conserver les données brutes (images et métadonnées associées) délivrées par les agences spatiales par dates et par capteurs;
- Conserver les données orthorectifiées et calibrées par dates et par capteurs.

Lors de l'acquisition de chaque donnée satellitaire, un rapport d'analyse pourra être établi afin de caractériser l'exhaustivité de la couverture. En se basant sur les données de recensement des feux

ainsi que des modélisations comme le risque d'ignition développée dans le cadre du projet INC, il est possible de croiser la donnée de couverture nuage afin de qualifier ces zones lacunaires:

- Nombre de feux avérés sous le couvert nuageux (issu de la cFF988 ou du suivi participatif),
- Probabilité de feux sous le couvert nuageux (issue de la carte de probabilité d'ignition).

Ce travail d'expertise permettra une qualification des acquisitions et donc de la base des surfaces brûlées.

#### *III.2.5.b. Surfaces brûlées*

Les surfaces brûlées issues du traitement des données satellitaires seront structurée en base de données géographique vectorielle de polygones comprenant :

- La date de création de l'information;
- Sources :
  - Satellite
  - Capteur
  - Date de prise de vue
  - Copyright de la donnée
- La précision de la saisie ou échelle d'utilisation;
- Date minimale du ou des points de localisation de la base de donnée de localisation des feux;
- Date maximale du ou des points de localisation de la base de donnée de localisation des feux;
- Méthode d'extraction de l'information ;
- Créateur de l'information.

Chaque nouveau relevé sera une entrée nouvelle dans la base de données.

Les méthodes d'extraction des surfaces brûlées pourront être semi-automatisée sous contrôle d'expert en traitement de la donnée satellitaire et d'expert thématique feux. Les méthodes préconisées sont les méthodes paramétriques de type SVM ou les détections de changement.

Le type de surface brûlée en fonction du degré d'impact pourra être également ajouté selon le besoin exprimé dans le cadre de l'exploitation opérationnelle du service.

#### *III.2.5.c. Typologie de la végétation*

Les données de typologie de la végétation seront structurées en base de données géographiques vectorielle de polygones. Une attention particulière devra être portée sur les aspects de mise à jour de la base de données de typologie de la végétation afin de conserver l'information caractérisant les changements de la végétation associés à leur date d'observation. Chaque donnée de typologie de cette base de données comprendra:

- Type de végétation telle que proposée dans le lot 2 de cette étude de faisabilité
- Date de création ;
- Sources :
  - Satellite
  - Capteur
  - Date de prise de vue
  - Copyright de la donnée

- Précision de la saisie ou échelle d'utilisation;
- Méthode employée ;
- Créateur de l'information ;

La typologie de la végétation sera mise à jour pour chaque début de saison des feux en utilisant les deux acquisitions satellitaires acquise lors du cycle précédant afin de maximiser l'identification des secteurs touchés par les feux et prendre en compte à minima la reprise végétale directement après feu. L'historique des changements pourra être capitalisé au sein de la base de données de typologie de la végétation afin de mettre en évidence les successions végétales observées dans le temps.

Les méthodes à base de traitement du signal seront à privilégier, par rapport à des méthodes de photo interprétation, puisqu'elles permettent des approches reproductibles dans le temps, d'optimiser et de pérenniser le suivi et également de minimiser les biais d'interprétation par un photo-interprète non expérimenté sur la thématique des feux. Une phase de calibration terrain est à prévoir.

### ***III.2.6. Consolidation du jeu de données de localisation des feux par croisement des données multi sources***

D'après les retours des acteurs concernés (Lot 1 de cette étude), les bases de données actuelles de localisation des feux nécessitent une consolidation à 3 niveaux :

1. Représentativité des données ;
2. Localisation géographique ;
3. Confiance et vérification des données.

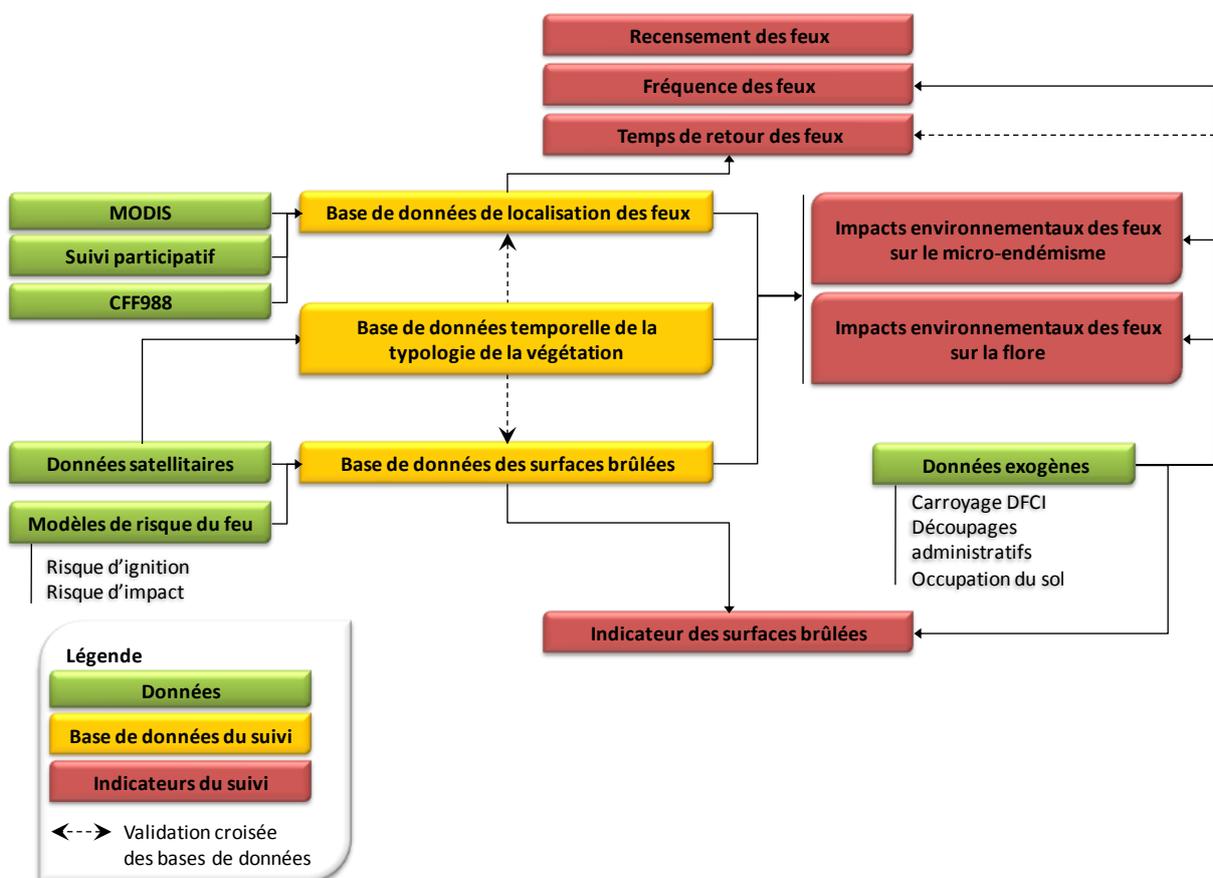
1. Les données sources de recensement des feux sont hétérogènes dans leur constitution et présentent des limitations propres à chaque méthode de levé. Afin de renforcer la représentativité de la base de donnée de localisation des feux, il est préconisé d'opérer une fusion de l'ensemble des sources de recensement des feux afin d'aboutir à un premier jeu de donnée de points représentant les feux. Ce jeu sera ensuite analysé et traité afin de réaliser une base de données de point où chaque point représentera de manière unique un feu déterminé. A ce stade il nous semble également pertinent de conserver le jeu de donnée de point unifié qui pourra être également exploité dans d'autres phases d'analyse (retour d'expérience, amélioration méthodologique, etc.).
2. La fusion des sources de données permettra également d'améliorer la localisation géographique des feux. En effet, le croisement des sources de la CFF988 avec les données de de points chauds par satellite ou du suivi participatif pourront améliorer la localisation de certain feux aillant été localisé de manière approximative.
3. Enfin, le degré de confiance et la validation des données peuvent être envisagés par un processus à 2 niveaux complémentaires et non exclusifs :
  - Un degré de confiance accordé à chaque point de localisation des feux calculé en fonction du nombre de sources relatant cet événement. Plus le score sera élevé, plus le point de feu correspondant aura été cité dans l'ensemble des sources de données.
  - Une vérification experte de chaque point devra être réalisée afin de valider le point de feu.

Ce double niveau de caractérisation de la donnée de localisation des feux permettra d'améliorer la confiance dans la manipulation de l'information en :

- disposant de points issus d'une seule source d'information mais validés par les experts comme étant un feu avéré (ex: point issus de la CFF988) ;
- disposant de points mentionnés à plusieurs reprises dans les sources d'information (MODIS, suivi participatif, presse, etc.) et présentant un degré de confiance fort même s'il n'a pas été vérifié par l'expert.

### III.3. Protocole de création d'indicateurs et de produits à valeur ajoutée

Le protocole de création des indicateurs identifie à partir des sources d'information, les données et bases de données de suivi à créer et à maintenir et les indicateurs sélectionnés du Lot 2 qui en découlent. Le schéma de croisement des sources d'information, de création des bases de données et de structuration des indicateurs est présenté dans la figure suivante :



Les méthodes de création des bases de données du suivi et des indicateurs de l'impact environnemental des feux ont été abordées dans le lot 2 de cette étude et dans ce document.

#### III.4. Moyens de diffusion et de valorisation des produits

La diffusion des données du suivi doit s'effectuer par le biais du portail de l'OEIL si l'OEIL entretient effectivement le système. Il semblerait pertinent que l'information diffusée puisse appuyer la démarche des communes pour la définition de leur Plan de Secours Communaux (PSC).

La diffusion des résultats concernent essentiellement la diffusion des indicateurs de l'impact environnemental des feux.

La diffusion des données satellitaires (brutes ou retravaillées) de quelque type que ce soit (WMS, raster, etc...) dépend de la licence d'utilisation exclusive achetée. De manière standard, cette diffusion est communément restreinte ou non autorisée.

Le partage des bases de données réalisées dans le cadre du suivi (base de données de localisation des feux, base de données des surfaces brûlées, base de données de la typologie de la végétation) avec l'ensemble des acteurs impliqués dans la thématique "feux" permettra une utilisation élargie des résultats du suivi aux besoins propres de chaque partenaire. En outre, le partage de ces données à valeur ajoutée participera à la consolidation du suivi par le biais d'analyse critique des données, des retours d'expérience, et des préconisations d'amélioration. Une réflexion devra être menée sur la pertinence de la diffusion publique de ces bases de données.

## Chapitre IV - Plan de réalisation et chiffrage

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord présenter une manière pertinente de structurer le projet en lots pouvant faire chacun l'objet d'un appel d'offre ou d'une prestation.

Nous abordons ensuite la partie organisationnelle du projet dont on connaît l'importance du fait de la diversité des acteurs et le caractère opérationnel du projet.

Une troisième partie est consacrée à l'analyse des risques du projet. Le macro-planning est présenté dans la partie suivante et nous terminons ce chapitre par l'évaluation financière.

### IV.1. Structuration du projet

La mise en œuvre du projet peut se structurer de façon modulaire au vu des éléments qui viennent d'être décrit dans les chapitres précédents.

La réalisation du suivi environnemental de l'impact des feux peut s'articuler autour de neuf lots :

- **Lot 1 : Recensement de la localisation des feux**
- **Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi**
- **Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées**
- **Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation**
- **Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations**
- **Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux**
- **Lot 7 : Diffusion des données du suivi**
- **Lot 8 : Suivi participatif - Mise en place d'un outil informatique**
- **Lot 9 : Maintenance des systèmes automatiques**

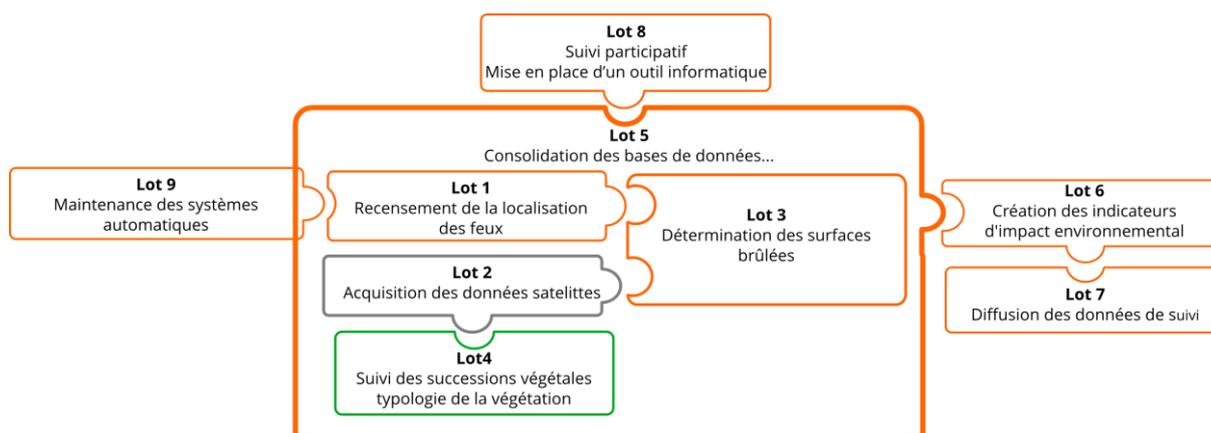


Figure 19 : Vision synthétique des dépendances des différents lots

Le cœur du dispositif est constitué des lots 1, 2, 3 et 4 afin d'assurer un suivi opérationnel minimal. Certains lots (2 et 4) peuvent être mutualisés avec d'autres projets nécessitant l'acquisition de données d'observation de la Terre (cartographies d'occupation des sols par exemple). Les lots 6, 7, 8

et 9 constituent des améliorations du suivi et peuvent également être supportés dans le cadre d'autres projets.

Nous détaillons dans ce qui suit les tâches à prévoir dans chacun des lots.

#### ***IV.1.1. Lot 1 : Recensement de la localisation des feux***

Ce lot comprend :

- La structuration et mise en place de la base de données (BDD) de recensement et de localisation des feux
- La mise en place de routines de téléchargement de la donnée MODIS
- La mise en place de routines de fusion des données multi sources (CFF988, MODIS, Suivi participatif, autres)
- L'intégration de la donnée au sein de la BDD
- L'intégration du recensement dans le protocole de suivi mis en place en tenant compte des acquisitions satellitaires
- La création d'un système de surveillance journalière des routines (vérification du bon fonctionnement), et de création de rapports mensuel sur les données acquises, gage de la qualité du système.

Concernant la mise en place de routine de traitement de l'information issue du capteur MODIS, il serait pertinent de se rapprocher de l'IRD qui a acquis une expérience dans ce domaine.

La mise en place d'un système de rapport permet à la fois de surveillance du bon fonctionnement du système, de croiser régulièrement les informations de la base avec des informations terrain et peut aussi permettre d'effectuer un retour vers les gestionnaires du feu. Ce rapport peut faire partie d'un système d'animation d'un réseau d'acteurs.

#### ***IV.1.2. Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi***

Ce lot comprend :

- Le choix du capteur et la mise en place du protocole d'acquisition des données satellitaires
- Les relations avec la ou les agences spatiales
- Une veille de l'actualité afin de diriger pertinemment les acquisitions en fonction du contexte,
- Les corrections géométriques et radiométriques des données pour leur exploitation dans le cadre du suivi
- La structuration et mise en place de la base de données (BDD) satellitaire au sein de l'architecture du suivi de l'impact environnemental des feux.

#### ***IV.1.3. Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées***

Ce lot comprend :

- Une prestation de traitement d'image et de géomatique (traitement pour extraction des surfaces, production de livrables),
- Structuration de la BDD des surfaces brûlées et intégration des données au sein de celle-ci

- L'intégration du recensement des surfaces brûlée dans le protocole de suivi mis en place en tenant compte des lots 1, 2 et 4.

#### **IV.1.4. Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation**

Ce lot comprend :

- La définition de la typologie de la végétation avec les acteurs du suivi
- Une prestation de traitement d'image et de géomatique comprenant :
  - La mise en place de la typologie de la végétation initiale par une méthode robuste et reproductible dans le temps ;
  - La définition des protocoles de mise à jour par des méthodes robustes et reproductibles
  - La définition des méthodes de définition des successions végétales
- Structuration de la BDD des successions végétales et intégration des données au sein de celle-ci

#### **IV.1.5. Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations**

Ce lot est issu d'un des besoins identifié lors de la phase de rencontre des acteurs.

*« La qualification (contrôle qualité, généalogie et sources) rend leur [données actuelles de base sur les feux] application sujette à discussion. »*

*Source : RECENSEMENT ET ANALYSE DES BESOINS DES ACTEURS DU SUIVI DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES FEUX, paragraphe : Les attentes remontées lors des entretiens*

Ce lot comprend :

- La définition du protocole méthodologique de consolidation des bases de données des lots 1, 3, et 4 ;
- La mise en place de routines de traitement automatique
- La mise en place de protocole de validation avec les experts
- L'implémentation opérationnelle des méthodes de consolidation
- La prise en compte de l'apport de données satellitaires dans les procédures de consolidation :
  - Convergence des surfaces des bases de données (localisation des feux, surface brûlées) ;
  - Convergence des observations terrain et des observations par télédétection (omission / sur détection)
- Rencontre avec les partenaires et travail collaboratif pour converger vers une assurance qualité

#### **IV.1.6. Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux**

Ce lot est la création effective des indicateurs du suivi, il inclut :

- Structuration de la BDD des indicateurs du suivi proposés (§ 1.3.2.),

- la mise en forme des indicateurs du suivi, selon les protocoles décrits plus haut, à partir des bases de données structurée,
- Leur intégration au sein de la BDD,
- Ainsi qu'un rapport annuel sur les tendances observées.

Le lot 6 s'appuie donc sur les lots 1,2, 3, 4, et 5.

#### ***IV.1.7. Lot 7 : Diffusion des données du suivi***

Ce lot inclut :

- La mise en place de l'architecture de diffusion des données selon le contexte de diffusion défini par l'OEIL et les acteurs impliqués dans le suivi
- L'ouverture opérationnelle des services de diffusion des données du suivi en fonction des besoins de diffusion exprimés :
  - Mise en place des flux WMS des données cartographiques
  - Mise en place des flux WFS d'analyse des indicateurs

Le lot 7 s'appuie donc sur les lots 1,2, 3, 4, 5 et 6.

#### ***IV.1.8. Lot 8 : Mise en place d'un outil informatique - appui du suivi participatif***

Le travail consiste en la spécification et le déploiement des technologies nécessaires à la mise en place d'un outil d'appui au suivi participatif des feux. Il comprendra :

- Identification des fonctionnalités.
- Rédaction des spécifications techniques détaillées.
- La spécification du matériel permettant de gérer la montée en charge des traitements et des accès à l'information.
- La définition de l'architecture logicielle optimale en termes de coût, de facilité de déploiement, de possibilité de développement, d'efficacité, d'évolution et donc de potentiel de compatibilité avec des systèmes hétérogènes.
- Elaboration d'un cycle de vie de l'information du suivi :
  - Constitution du formulaire des données du suivi,
  - Système de validation des informations,
  - Usage et valorisation : Des rapports d'incidents à la diffusion d'alertes personnalisées.
- Développement de l'interface – intégration au portail de l'OEIL
- Déploiement - Installation et configuration des composants de l'application
- Tests de l'application.

#### ***IV.1.9. Lot 9 : Maintenance des systèmes automatiques***

Ce lot se concentre sur la maintenance des routines automatiques. Par exemple, à plusieurs reprises les protocoles de téléchargement des données MODIS ont évoluées, comme en juin 2013 :

2013-05-09 - LP DAAC to Discontinue Anonymous FTP<sup>7</sup>

*The LP DAAC will shut off anonymous FTP download capability for MODIS on June 4, 2013. After this date, LP DAAC users will be required to use HTTP to download MODIS data*

L'évolution peut aussi provenir des produits distribués et donc de l'adaptation des routines à ces changements ou de l'intégration de nouveaux produits disponibles.

Cette maintenance s'appuie sur le lot 1 et notamment sur le système de surveillance journalière. Il est fondamental d'avoir un suivi opérationnel continu afin de ne pas impacter négativement la vision des utilisateurs du suivi. Une autre composante est la nécessité d'être proactif en termes de veille technologique concernant les services web utilisés dans les routines et pour la diffusion des indicateurs. Ils permettront de manière complémentaire du « monitoring », d'anticiper les changements de protocoles ou de produits et de déclencher les adaptations techniques dans un délai assurant une continuité du système.

Ce lot comprend donc :

- Une veille technologique afin d'anticiper des changements,
- Une veille active des systèmes automatiques opérationnels mis en place,
- Des développements complémentaires des routines en place.

## IV.2. Organisation

Les aspects organisationnels sont d'une grande importance dans la mise en œuvre d'un projet comme celui du suivi de l'impact environnemental des feux du fait de la multiplicité des partenaires, de leur hétérogénéité mais surtout de la phase actuelle de transfert de compétence de la Sécurité civile en Nouvelle-Calédonie. La bonne coordination du projet est une clé de réussite. L'objet de ce chapitre est de décrire l'organisation que nous préconisons pour mener à bien la mise en œuvre du suivi.

### IV.2.1. Les acteurs

L'hypothèse que l'OEIL constitue le maître d'ouvrage est posée. Cette possibilité n'est pas définitive puisqu'il est noté lors du recensement des besoins que l'OEIL souhaite amorcer la démarche mais ne pas en être le seul acteur.

*« L'OEIL joue ici le rôle d'initiateur du suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux. Il réalise ainsi l'étude de faisabilité permettant la définition des indicateurs de suivi et la mise en place d'un protocole adapté aux contraintes de la thématique, du milieu et financière.*

*L'OEIL propose de supporter la mise en œuvre pré-opérationnelle du suivi dans le cadre d'une zone test.*

*Cette démarche s'inscrit également dans la recherche d'une mutualisation des moyens des acteurs légitimes et concernés par la thématique de l'impact des feux pouvant participer à la pérennisation du dispositif. »*

La question de déterminer définitivement le maître d'ouvrage du suivi de l'impact environnemental des feux reste donc d'actualité. Elle est grandement liée à la délimitation de la zone d'étude : Nouvelle-Calédonie, Province Sud ou Grand Sud, ainsi qu'aux types d'indicateurs qui seront déployés dans le cadre de ce suivi.

---

<sup>7</sup>[http://modis.gsfc.nasa.gov/news/individual.php?news\\_id=100298](http://modis.gsfc.nasa.gov/news/individual.php?news_id=100298)

Autour de la maîtrise d'ouvrage, la présence de deux catégories d'acteurs est nécessaire :

- Le comité de pilotage
- Le groupe des utilisateurs

Le **comité de pilotage** est l'organe de décision stratégique du projet. Il effectue les arbitrages sur les orientations financières du suivi.

Un **groupe des futurs utilisateurs** du suivi devra être formé par les différents acteurs de la gestion du feu. Sa vocation principale est d'être l'interface sur les orientations techniques et les livrables sur le suivi de l'impact environnemental des feux.

#### **IV.2.2. Le rôle des acteurs**

##### *IV.2.2.a. Le comité de pilotage*

Placé au niveau décisionnel, il prend les décisions stratégiques et financières sur le projet, par exemple en arbitrant entre différents scénarios qui lui sont soumis par la maîtrise d'ouvrage.

Il valide les différents jalons définis dans les différentes phases du projet et il contrôle le respect des objectifs.

##### *IV.2.2.b. Le groupe des utilisateurs*

Chaque membre du groupe d'utilisateurs est le relai d'information dans sa structure sur le suivi de l'impact environnemental des feux et surtout de ces résultats.

Il est composé d'experts, pour examiner, proposer et valider les protocoles des suivis environnementaux menés et les indicateurs qui leur seront associés. A ce noyau, il semble essentiel d'associer fortement des opérationnels de la gestion du feu (CSI et la CFF988 : Sécurité civile et DTSI).

Un pré-requis pour la bonne marche du projet est que chaque partenaire mandate un correspondant pour le groupe de travail sur l'impact environnemental des feux en Nouvelle-Calédonie. Il doit être envisagé qu'une personne coordinatrice aille chercher de manière proactive les retours chez ces acteurs.

Ce groupe utilisateur devra se réunir à des moments clés de la saison des feux : fin de la SAFF pour le premier bilan sur le recensement consolidé des feux et lors de la livraison des indicateurs finaux du cycle du suivi. Il fait aussi des propositions au comité de pilotage en vue de l'amélioration du dispositif.

Le groupe d'utilisateurs est animé par la maîtrise d'ouvrage et il pourra être la cible du rapport mensuel du suivi, comme proposé dans le lot 1 : Recensement de la localisation des feux.

On voit donc toute l'importance de ce groupe d'utilisateurs qui donnera à la Maîtrise d'Ouvrage une vision claire du positionnement du suivi et de la bonne adéquation de son timing. Ce n'est qu'à cette condition que cet outil pourra être accepté par les différents acteurs et donc fédérer autour de la compréhension de l'impact environnemental des feux.

### **IV.2.3. Les différentes phases**

#### *IV.2.3.a. La phase de test sur une zone pilote*

Il est demandé à l'initiative de l'OEIL d'effectuer une phase de test sur une zone pilote.

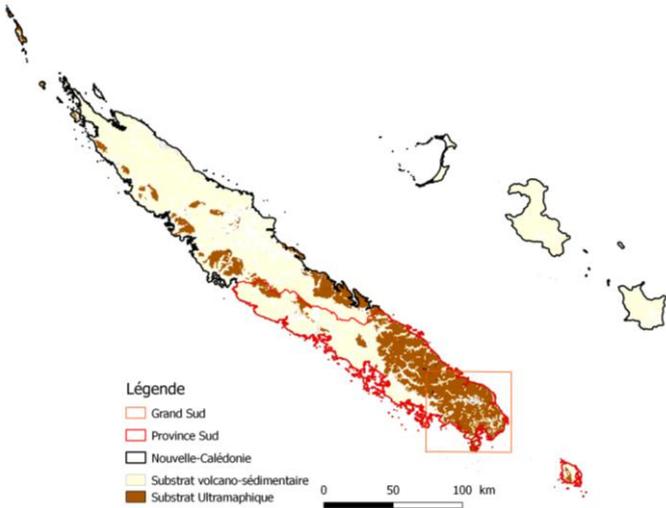
*« L'OEIL propose de supporter la mise en œuvre pré-opérationnelle du suivi dans le cadre d'une zone test. Cette démarche s'inscrit également dans la recherche d'une mutualisation des moyens des acteurs légitimes et concernés par la thématique de l'impact des feux pouvant participer à la pérennisation du dispositif. »*

Les objectifs de cette étape sont bien la vérification de la faisabilité technique et la création d'interactions avec les acteurs du feu. A la fin de cette étape, la question de la maîtrise d'œuvre devra donc être résolue.

Quels critères pour le choix de la zone?

- La zone doit être incluse dans la zone du Grand Sud (zone d'observation de prédilection de l'OEIL).
- Elle doit être représentative des différentes formations végétales de la Nouvelle-Calédonie et de leur dynamique face aux feux. La zone doit comprendre des formations sur substrat volcano-sédimentaire et ultramafique. On peut envisager une exception concernant la forêt sèche qui représente 1% des formations. Cette formation est bien identifiée et fait l'objet d'un programme de protection ciblé.
- Elle doit pouvoir fédérer les différents acteurs du suivi. Par exemple, la côte oubliée n'intéressera que peu les opérationnels de gestion du feu, car la zone ne concerne que faiblement les enjeux d'atteinte aux hommes et aux biens. Il serait alors possible qu'ils ne se sentent pas concernés par le choix de la zone pilote.

ETUDE DE FAISABILITE POUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX  
PROTOCOLE DE SUIVI OPERATIONNEL DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX



#### *IV.2.3.b. La phase de déploiement optimisée*

La seconde phase permettra de déployer le suivi à une autre échelle, de manière optimisée par la prise en compte des retours d'expérience de la phase de test. Elle permettra d'ajuster le protocole selon les expériences positives ou les échecs rencontrés lors de la première phase. Il sera notamment intéressant d'obtenir les retours des opérationnels de terrains sur cet outil.

De manière plus globale, un bilan sur l'adéquation du protocole ainsi que des livrables du suivi avec les besoins exprimés dans le lot 1 sera nécessaire. Il permettra éventuellement d'identifier de nouveaux besoins. Ce bilan pourra aussi permettre la création de grille de lecture pour les indicateurs à partir de la base constituée lors de la phase de test.

Au niveau financier, un premier cycle de mise en place du suivi permettra de fédérer les acteurs et ainsi de dégager des pistes de mutualisation sur les données et /ou de cofinancement.

### *IV.3. Analyse des risques*

Lors des rencontres avec les acteurs de la gestion du feu, nous avons pu constater qu'il existe une volonté positive autour du projet. De plus, des initiatives récentes sont en cours ayant comme objectifs l'amélioration d'acquisition de données de base sur les feux<sup>8</sup>. Il convient cependant de ne pas négliger les risques inhérents au projet et de les anticiper.

#### *IV.3.1.a. Risques organisationnels*

L'organisation projet que nous avons recommandée suppose que les membres du conseil scientifique soient mobilisés pour les différentes phases du suivi de l'impact des feux et que les opérationnels de la gestion des feux (CSI, CFF988) désignent chacun un correspondant technique, membre du groupe des utilisateurs. Le groupe utilisateurs doit inclure les opérationnels car ils sont les fournisseurs d'une donnée base pour la consolidation des informations.

L'actualité de la Nouvelle-Calédonie en termes de transfert de compétence de la sécurité civile implique des difficultés dans les positionnements des acteurs. Il sera important de suivre dynamiquement l'évolution des prérogatives de chacun.

Un des risques majeurs pour l'établissement d'un tel suivi est la définition claire de la maîtrise d'ouvrage. Cette définition est directement liée aux questions suivantes :

- Quel est le périmètre du suivi en termes d'emprise géographique ?
- Quels types d'indicateurs seront déployés ? Opérationnels ou de monitoring de l'impact sur les milieux...
- Qui supportera le coût financier d'un tel outil ?

#### *IV.3.1.b. Risques techniques*

Les technologies et les capteurs que l'on propose de mettre en œuvre dans le projet sont déjà bien éprouvés individuellement. En revanche, les éléments de surveillance des routines et de retour vers les utilisateurs semblent primordiaux, aussi bien que la consolidation des données de base par

---

<sup>8</sup> Les feux de brousse dans Géorep - 04 octobre 2013- [http://explorateur-carto.georep.nc/?app\\_carto=securite\\_civile\\_nc](http://explorateur-carto.georep.nc/?app_carto=securite_civile_nc)

croisement des sources d'informations, gage de qualité. Il faudra donc veiller à bien mettre en place ces fonctionnalités et ces phases de contrôle du suivi.

La prestation de télédétection est grandement conditionnée par la connaissance du contexte par le prestataire et par la veille permanente des événements en Nouvelle-Calédonie. Il ya donc à juger les partenaires potentiels à la fois sur leurs compétences techniques en traitement d'image mais aussi sur leur connaissance de l'impact des feux sur les paysages. Par exemple, la signature spectrale entre une cuirasse et un sol brûlé est ambiguë. Elle peut amener à une mauvaise interprétation des résultats et fausser la qualité de l'information de base du suivi.

Une attention particulière devra être portée sur la sauvegarde des bases du suivi. Afin d'assurer un service continu optimal, les recommandations sont généralement de veiller à mettre en place un système de sauvegarde robuste visant à répliquer et synchroniser les bases en temps réel. Les données brutes (images satellites non traités) pourront faire l'objet d'un système de sauvegarde plus minimaliste (sauvegarde annuelle sur un support de stockage).

#### IV.4. Macro-planning

Le macro-planning que nous proposons dans ce chapitre s'étale sur deux cycles de suivi de l'impact environnemental des feux, un premier cycle de mise en place du suivi et un second cycle opérationnel soit 30 Mois. Cela reviendrait à parvenir à un premier cycle (phase de mise en place) au bout de 18 mois et suivi complet au bout des 30 mois. Cette proposition est cependant à mettre en perspective avec les contraintes budgétaires de l'OEIL et des partenaires du suivi.

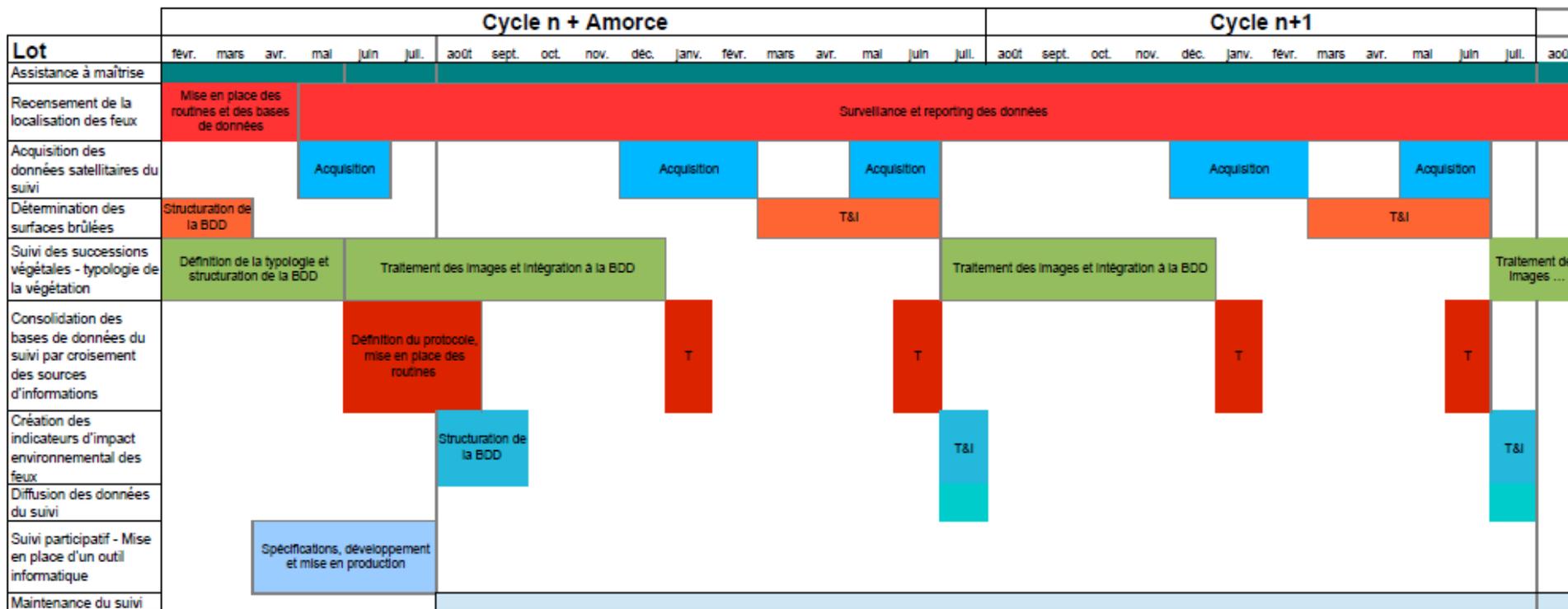
L'assistance à la maîtrise d'ouvrage intervient pendant toute la durée de mise en place du suivi et lors des mises à jour du suivi. En tant qu'animateur du dispositif, il doit préparer les mises en œuvres opérationnelles des différents lots ainsi que constituer le groupe utilisateur.

La proposition est d'amorcer le suivi par la mise en place des systèmes automatisés de récolte d'informations sur les feux (Source de données MODIS), la structuration des différentes bases de données et l'acquisition d'une image satellite afin de caractériser les milieux avant la SAFF (Saison administrative des feux de Forêt).

Cette première étape de mise en place demandera un investissement au départ et il permettra d'établir une assise au projet. Cette phase devra se clôturer idéalement à la fin Août 2014. La deuxième phase opérationnelle aboutira à la première série d'indicateurs du suivi. Il est essentiel de terminer cette phase avant la reprise de la SAFF pour :

- Profiter de la dynamique des acteurs lors de cette période de préparation,
- Fédérer les acteurs autour de ce bilan de l'année passée,
- Effectuer les retours d'expériences avant la nouvelle saison des feux.

La création d'un outil de suivi participatif est à planifier en fonction des directions stratégiques et financières de l'OEIL.



SAFF

T : Traitement - T&I : Traitement & Intégration des données au sein des BDD

Figure 20 : Proposition de macro planning sur deux cycles

## IV.5. Estimation des coûts prévisionnels

### *IV.5.1. Description synthétique des lots pour l'évaluation financière*

Avant de passer à l'évaluation financière, nous faisons ici quelques rappels sur le périmètre des lots. Cette synthèse rapide permet de mieux comprendre le chiffrage.

#### **Lot 1 : Recensement de la localisation des feux**

Le livrable principal attendu dans le lot 1 est une base brute actualisée de suivi des feux à une granularité temporelle annuelle.

#### **Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi**

Le livrable de ce lot est une base de donnée d'images satellitaires. Ce lot comprend la définition de la stratégie d'acquisition de données satellitaires comprenant la sélection du capteur, le choix des licences et la mise en place du protocole d'acquisition systématique avec la ou les agences spatiales. Ce lot comprend également le dimensionnement des prétraitements (orthorectification et calibration des données) nécessaire à l'exploitation des données dans le suivi.

#### **Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées**

Le livrable attendu est une base de données des surfaces brûlées extraites à partir des images satellitaires à une granularité temporelle annuelle.

#### **Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation**

Le livrable attendu est une base de données temporelle de la typologie de la végétation permettant d'extraire les successions végétales.

#### **Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations**

Le Lot 5 vient en complément des Lots 1, 2, et 3. Il représente un travail d'expertise et de recoupement des informations issus du terrain (CFF988) ou du suivi participatif afin de consolider la base de données et d'assurer aux différents partenaires de la qualité de l'information de base du suivi.

#### **Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux**

Le livrable attendu est le calcul des indicateurs du suivi à partir des bases de données réalisées et maintenu par le suivi.

#### **Lot 7 : Diffusion des données du suivi**

Il s'agit des spécifications détaillées des services de diffusion des indicateurs de suivi de l'impact environnemental des feux et de leur intégration au portail de l'OEIL (test et mise en production).

#### **Lot 8 : Suivi participatif - Mise en place d'un outil informatique**

Il s'agit des spécifications détaillées de l'outil informatique, développement, intégration au portail de l'OEIL, sa mise en production et tests.

#### **Lot 9 : Maintenance du suivi**

Ce lot comprend la veille des systèmes automatisés ou semi-automatisés d'alimentation des bases de données.

#### **IV.5.2. Estimations des coûts de réalisation**

##### *IV.5.2.a. Estimation globale*

Nous présentons ici une estimation du coût de réalisation du Suivi de l'impact environnemental des feux, c'est-à-dire les coûts d'acquisition des données, coût de réalisation des bases de données et des indicateurs, coûts de spécification détaillée d'outil participatif, développement, tests et mise en production.

Certaines hypothèses ont été faites pour parvenir à ce chiffrage :

La première d'entre elles est de retenir 2 échelles de suivi selon les données satellitaires sélectionnées dans le § II.2.1.c : 1/50000 et 1/15000.

La seconde hypothèse est d'estimer le coût des licences d'image satellitaires au prix du marché pour un utilisateur (monolice).

La troisième hypothèse est d'estimer à 75 000 XPF le coût journalier moyen des prestations.

Nous avons divisé l'estimation en 2 parties :

- la mise en place du suivi comprenant les phases de test de structuration des bases de données et de pré-production ;
- le suivi opérationnel en tant que tel.

Les coûts estimés pour la phase de mise en place seront alloués pour une période déterminée ; les coûts estimés pour la partie opérationnelle sont des coûts annuels.

L'assistance à la maîtrise d'ouvrage a été estimée comme une prestation de 5 jours par mois en phase de mise en place et 1,5 jour par mois en phase opérationnelle. Elle vient assurer la coordination entre les différents lots afin de tendre vers une intégration optimale et le respect du planning.

Les estimations ont été effectuées sur l'emprise de la Nouvelle-Calédonie, la Province Sud et le Grand Sud (env. 4000 km<sup>2</sup>).

IV.5.2.b. Estimation pour un suivi au 1/50 000

Tableau 11 : Estimations pour un suivi au 1/50000

	1/50 000					
	Mise en place du suivi (18 mois)			Suivi opérationnel (par an)		
	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud
<b>Lot 1 : Recensement de la localisation des feux</b>	2,3 M XPF			0,8 M XPF		
<b>Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi</b>	1,2 M XPF	1,0 M XPF	1,0 M XPF	1,2 M XPF	1,0 M XPF	1,0 M XPF
<b>Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées</b>	2,0 M XPF	1,2 M XPF	0,5 M XPF	1,7 M XPF	0,9 M XPF	0,4 M XPF
<b>Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation*</b>	9,9 M XPF	6,3 M XPF	3,9 M XPF	3,0 M XPF	2,0 M XPF	1,2 M XPF
<b>Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations</b>	3,2 M XPF			0,4 M XPF		
<b>Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux</b>	2,0 M XPF			1,3 M XPF		
<b>Lot 7 : Diffusion des données du suivi</b>	0,8 M XPF			0,8 M XPF		
<b>Lot 8 : Suivi participatif - Mise en place d'un outil informatique</b>	4,0 M XPF			-		
<b>Lot 9 : Maintenance du suivi</b>	0,5 M XPF			0,5 M XPF		
<b>AMO - gestion de projet</b>	6,8 M XPF (5 jours par mois)			1,4 M XPF (1,5 jours par mois)		
<b>TOTAL</b>	<b>32,6 M XPF</b>	<b>27,9 M XPF</b>	<b>24,9 M XPF</b>	<b>10,6 M XPF</b>	<b>8,6 M XPF</b>	<b>7,3 M XPF</b>

Pour la mise en place du suivi au 1/50 000, l'estimation des coûts de mise en place du dispositif varie de 32,6 Millions Xpf à 24,9 Millions Xpf sur les territoires concernés. De la même manière, le maintien opérationnel du suivi est estimé entre 10,6 Millions Xpf et 7,3 Millions Xpf par an en fonction des territoires concernés. Dans cette estimation, le coût des images satellitaires représente de 1 à 4 % du cout total (entre 470 000 Xpf et 240 000 Xpf).

\* La fréquence de mise à jour de la carte de végétation pourrait être allongée de manière à diminuer les coûts de ce poste.

IV.5.2.a. Estimation pour un suivi au 1/15 000

Tableau 12 : Estimations pour un suivi au 1/15000

	1/15 000					
	Mise en place du suivi (18 mois)			Suivi opérationnel (par an)		
	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud
<b>Lot 1 : Recensement de la localisation des feux</b>	2,3 M XPF			0,8 M XPF		
<b>Lot 2 : Acquisition des données satellitaires du suivi</b>	21,8 M XPF	11,6 M XPF	5,1 M XPF	21,8 M XPF	11,6 M XPF	5,1 M XPF
<b>Lot 3 : Détermination des surfaces brûlées</b>	3,9 M XPF	2,2 M XPF	1,0 M XPF	3,5 M XPF	2,0 M XPF	0,9 M XPF
<b>Lot 4 : Suivi des successions végétales - typologie de la végétation*</b>	40,3 M XPF	22,3 M XPF	10,3 M XPF	12,2 M XPF	6,8 M XPF	3,2 M XPF
<b>Lot 5 : Consolidation des bases de données du suivi par croisement des sources d'informations</b>	3,2 M XPF			0,4 M XPF		
<b>Lot 6 : Création des indicateurs d'impact environnemental des feux</b>	3,2 M XPF			2,4 M XPF		
<b>Lot 7 : Diffusion des données du suivi</b>	0,8 M XPF			0,8 M XPF		
<b>Lot 8 : Suivi participatif - Mise en place d'un outil informatique</b>	4,0 M XPF			-		
<b>Lot 9 : Maintenance du suivi</b>	0,5 M XPF			0,5 M XPF		
<b>AMO (5 jours/mois) - gestion de projet</b>	6,8 M XPF			1,4 M XPF		
<b>TOTAL</b>	<b>86,7 M XPF</b>	<b>56,8 M XPF</b>	<b>37,0 M XPF</b>	<b>43,3 M XPF</b>	<b>26,2 M XPF</b>	<b>14,9 M XPF</b>

Pour la mise en place du suivi au 1/15 000, l'estimation des coûts de mise en place du dispositif varie de 87,0 Millions Xpf à 37,0 Millions Xpf sur les territoires concernés. De la même manière, le maintien opérationnel du suivi est estimé entre 43,3 Millions Xpf et 14,9 Millions Xpf par an en fonction des territoires concernés. Dans cette estimation, le coût des images satellitaires représente de 6 à 27 % du cout total (entre 11 600 000 Xpf et 2 400 000 Xpf).

\* La fréquence de mise à jour de la carte de végétation pourrait être allongée de manière à diminuer les coûts de ce poste.

*IV.5.2.a. Estimation du coût total de réalisation*

Avec ces hypothèses, le coût total de réalisation est de l'ordre de :

**Tableau 13 : Fourchette de coût de réalisation**

Emprise	Echelle	Mise en place du suivi	Suivi annuel	% alloué pour l'acquisition des données satellitaires	
				Mise en place	Suivi annuel
Nouvelle-Calédonie	1/50 000	33 M XPF	11 M XPF	1 %	4 %
	1/15 000	87 M XPF	43 M XPF	13 %	27 %
Province Sud	1/50 000	28 M XPF	9 M XPF	1 %	4 %
	1/15 000	57 M XPF	26 M XPF	10 %	23 %
Grand Sud	1/50 000	25 M XPF	7 M XPF	1 %	4 %
	1/15 000	37 M XPF	15 M XPF	6 %	16 %

**IV.5.3. Estimation des gains par mutualisation des acquisitions**

La mutualisation des licences d'acquisition des données satellitaires entre les différents partenaires permettrait de partager le coût d'acquisition des données. Les gains par mutualisation des licences ne s'appliquent qu'au lot 2 d'acquisition des données. La diminution du coût de licence par mutualisation est estimée à 35% pour 2 utilisateurs, 57% pour 3 utilisateurs et 87% pour 10 utilisateurs. La mutualisation des acquisitions permettrait des gains significatifs dans le cadre du suivi au 1/15 000.

**Tableau 14 : Gain par mutualisation des acquisitions**

	1/15 000					
	Mise en place du suivi (18 mois)			Suivi opérationnel (par an)		
	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud
<b>Non mutualisé</b>	21,8 M XPF	11,6 M XPF	5,1 M XPF	21,8 M XPF	11,6 M XPF	5,1 M XPF
<b>2 utilisateurs</b>	17,9 M XPF	9,6 M XPF	4,2 M XPF	17,9 M XPF	9,6 M XPF	4,2 M XPF
<b>3 utilisateurs</b>	15,3 M XPF	8,3 M XPF	3,7 M XPF	15,3 M XPF	8,3 M XPF	3,7 M XPF
<b>10 utilisateurs</b>	11,7 M XPF	6,5 M XPF	2,9 M XPF	11,7 M XPF	6,5 M XPF	2,9 M XPF

	1/50 000					
	Mise en place du suivi (18 mois)			Suivi opérationnel (par an)		
	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud	Nouvelle-Calédonie	Province Sud	Grand Sud

<b>Non mutualisé</b>	1,2 M XPF	1,0 M XPF	1,0 M XPF	1,2 M XPF	1,0 M XPF	1,0 M XPF
<b>2 utilisateurs</b>	1,0 M XPF	0,9 M XPF	0,9 M XPF	1,0 M XPF	0,9 M XPF	0,9 M XPF
<b>3 utilisateurs</b>	0,9 M XPF					
<b>10 utilisateurs</b>	0,8 M XPF					

#### IV.6. Conclusion

La mise en place d'un suivi de l'impact environnemental des feux est techniquement réalisable.

Le dispositif proposé permet :

- d'améliorer la détermination et la capitalisation de la localisation des feux ;
- d'harmoniser les bases de données ;
- d'augmenter la confiance dans les données concernant les feux.

En outre, ce suivi propose un premier jeu d'indicateurs de suivi de l'impact environnemental des feux synthétiques et répondant aux besoins premiers de la communauté d'utilisateurs.

Néanmoins un certain nombre de paramètres sont à prendre en compte dans le cadre d'un déploiement opérationnel.

Pour la mise en place du suivi, il est important de définir l'assistance à maîtrise d'ouvrage et de ce fait les éléments suivants :

- les indicateurs à déployer,
- et l'emprise du suivi.

Ces éléments permettront alors de déterminer qui va supporter le coût du suivi, les potentiels moyens de mutualisation des données acquises dans le cadre de ce suivi voire des pistes pour converger vers une dynamique commune de projet.

Il semble essentiel de fédérer le maximum d'acteurs dans cette démarche car la proposition méthodologique s'appuie grandement sur le recoupement des sources d'informations et notamment sur des expériences terrain. Il est donc important de réussir à intégrer les opérationnels, par la CFF988 mais aussi les CSI, dans cette démarche de suivi environnemental de l'impact des feux.

Il est aussi important de réussir à créer une animation régulière autour de ce suivi afin d'obtenir une bonne adéquation avec les besoins des utilisateurs. Des réunions clés devront être réalisées afin de retranscrire aux partenaires les résultats du suivi, en début et fin de SAFF par exemple. Cette fédération d'un ensemble d'acteurs pourra s'accompagner durant la SAFF de newsletters mensuelles. Cette lettre mensuelle permettrait de retranscrire de manière privilégiée des résultats intermédiaires du suivi à destination des partenaires.

L'intégration de données issues du « crowdsourcing » – gestion participative ou citoyenne, sur les feux semble pertinente mais demandera un effort pour créer et animer la communauté autour de ce projet. Les solutions basées sur le mobile ne devront pas être négligées car elles permettent de créer des outils à forte ergonomie et donc de permettre une meilleure appropriation par les utilisateurs des outils du suivi.

La retranscription des indicateurs du suivi par l'ŒIL à destination du grand public ou des experts pourront être fait au travers du:

- Guichet cartographique « Vulcain » sur le suivi de l'impact environnemental des feux,
- ou de l'application plus généraliste « Cart'Environnement »

Cette étape permettra de porter à la connaissance du public de manière annuelle les impacts environnementaux des feux.

## Chapitre V - Bibliographie

Andreoli, R., Allenbach, B., Battiston, S., Bestault, C., Caspard, M., Clandillon, S., Fellah, K., De Fraipont, P., Gaermer, S., Meyer, C., et al. (2008). Question de cartographie d'urgence. Actes Conférence Festiv. Int. Géographie St.-Dié--Vosges 2 - 5 Oct 2008 8.

Andres, M. (2004). Services spatiaux opérationnels pour la gestion des risques inondation et incendie (Illkirch-Graffenstaden: SERTIT).

Barbosa, P.M., Grégoire, J.-M., and Pereira, J.M.C. (1999). An Algorithm for Extracting Burned Areas from Time Series of AVHRR GAC Data Applied at a Continental Scale. *Remote Sens. Environ.* 69, 253–263.

Commission de validation des Données pour l'Information Spatialisée (2010). Comment qualifier la précision et les notions d'échelle dans les métadonnées de nos séries de données ?

Couturier, S., Taylor, D., Siegert, F., Hoffmann, A., and Bao, M.. (2001). ERS SAR backscatter: a potential real-time indicator of the proneness of modified rainforests to fire. *Remote Sens. Environ.* 76, 410–417.

Csiszar, I.A., Morisette, J.T., and Giglio, L. (2006). Validation of Active Fire Detection From Moderate-Resolution Satellite Sensors: The MODIS Example in Northern Eurasia. *Ieee Trans. Geosci. Remote Sens.* 44, 1757–1764.

ESA (2013). Base de données ESA - Missions spatiales.

ESA ATSR World Fire Atlas.

French, N.H., Bourgeau-Chavez, L.L., Wang, Y., and Kasischke, E.S. (1999). Initial Observations of Radarsat Imagery at Fire-Disturbed Sites in Interior Alaska. *Remote Sens. Environ.* 68, 89–94.

Giglio, L. (2013). MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.5.

Giglio, L., Desloîtres, J., Justice, C.O., and Kaufman, Y.J. (2003). An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. *Remote Sens. Environ.* 87, 273–282.

Giglio, L., Csiszar, I., Restás, Á., Morisette, J.T., Schroeder, W., Morton, D., and Justice, C.O. (2008). Active fire detection and characterization with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *Remote Sens. Environ.* 112, 3055–3063.

Gimeno, M., and San-Miguel-Ayanz, J. (2004). Evaluation of RADARSAT-1 data for identification of burnt areas in Southern Europe. *Remote Sens. Environ.* 92, 370–375.

Heitz, S. (2006). Evaluation des données optiques très haute résolution, métriques et infra-métriques, pour la caractérisation des enjeux et des chemins de l'eau Application au secteur d'Arles – Tarascon.

Jacquín, A., Denux, J.-P., and Chéret, V. (2011). Choix d'un indice spectral adapté à la détection des surfaces brûlées dans des milieux de savanes dégradées – Application à Madagascar. *Can. J. Remote Sens.* 37, 314–320.

Justice, C., Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Csiszar, I.A., Morisette, J.T., and Kaufman, Y.J. (2006). MODIS Fire products (version 2.3, 1 October 2006) - EOS ID#2741.

Koffi, B., Grégoire, J.-M., Mahé, G., and Lacaux, J.-P. (1995). Remote sensing of bush fire dynamics in Central Africa from 1984 to 1988: analysis in relation to regional vegetation and pluviometric patterns. *Atmospheric Res.* 39, 179–200.

Li, Z., Kaufman, Y.J., Fraser, R., Trishchenko, A., Giglio, L., Jin, J., and Yu, X. (2000). A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Recommendations.

Matson, M., and Dozier, J. (1981). Identification of Subresolution High Temperature Sources Using a Thermal IR Sensor. *Photogrammetric Eng. Remote Sens.* 47, 1311–1318.

Minchella, A., Del Frate, F., Capogna, F., Anselmi, S., and Manes, F. (2009). Use of multitemporal SAR data for monitoring vegetation recovery of Mediterranean burned areas. *Remote Sens. Environ.* 113, 588–597.

Minnich, R.A. (1983). Fire mosaics in Southern California and Northern Baja California. *Science* 219, 1287–1294.

Mitri, G.H., and Gitas, I.Z. (2013). Mapping post-fire forest regeneration and vegetation recovery using a combination of very high spatial resolution and hyperspectral satellite imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 20, 60–66.

Norton, J., Glenn, N., Germino, M., Weber, K., and Seefeldt, S. (2009). Relative suitability of indices derived from Landsat ETM+ and SPOT 5 for detecting fire severity in sagebrush steppe. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 11, 360–367.

Quintano, C., Fernández-Manso, A., Stein, A., and Bijker, W. (2011). Estimation of area burned by forest fires in Mediterranean countries: A remote sensing data mining perspective. *For. Ecol. Manag.* 262, 1597–1607.

Razafimpanilo, H., Frouin, R., Iacobellis, S.F., and Somerville, R.C.J. (1995). Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. *Remote Sens. Environ.* 54, 273–289.

SERTIT (2005a). CHARTE Call 97 - CHARTER Call 97 Feux de forêts, Colle du Rouet - Forest fires, Colle du Rouet Var, France - Var, France.

SERTIT (2005b). Action de cartographie rapide RISK-EOS - RISK-EOS RMS Activity Incendies en Nouvelle-Calédonie - Fires in New Caledonia Région de Nouméa - Noumea area.

SERTIT (2006). Cartographie rapide - Rapid mapping Incendies en Grèce - Fires in Greece Péloponnèse, secteur d'Aeropoli - Peloponnese, Aeropoli area.

SERTIT (2007a). Cartographie Rapide - Rapid mapping Incendies dans le massif du Tanneron - Fires in the massif du Tanneron Provence-Alpes-Côte d'Azur - Provence-Alpes-Côte d'Azur.

SERTIT (2007b). CHARTE Call 175 - CHARTER Call 175 Incendies en Grèce - Fires in Greece Grèce centrale et Peloponnèse - Central Greece and Peloponnese.

SERTIT (2008). Action de cartographie rapide - Rapid Mapping Action Incendies dans le Massif des Corbières - Fires in the Massif des Corbières Département de l'Aude, France - Aude Department, France.

SERTIT (2009d). Action SAFER N° 8: Portugal 2009 - SAFER action N°8: Portugal 2009 Incendies au Portugal - Fires in Portugal Provinces du nord - Northern Provinces.

SERTIT (2009e). Action SAFER N°010: Italie du Nord - SAFER action N°010: Northern Italy Provinces de Gênes & La Spezia, Ligurie - Genoa & La Spezia provinces, Liguria Incendies près de Gênes, Corniglia & Corrodano - Fires near Genoa, Corniglia & Corrodano.

SERTIT (2009a). Action SAFER N°010-02 - SAFER action N°010-02 Province de Salerne, Campanie - Salerno province, Campania Incendies dans le Cilento - Fires in Cilento (Monte Cerreto - Corbara).

SERTIT (2009b). Action SAFER N°5 - SAFER action N°5 Département des Bouches-du-Rhône, France - Bouches-du-Rhône department, France Incendies dans le Massif de Carpiagne - Fires in the Massif of Carpiagne.

SERTIT (2009c). Action SAFER N°6a : France 2009 - SAFER action N°6a Département de Corse-du-Sud, France - Corse-du-Sud Department, France Incendies dans les secteurs de Sartène, Aullène et Peri - Fires in the Sartène, Aullène and Peri areas.

SERTIT (2010a). CHARTE Call n°346 et Action SAFER n°070 : Israël 2010 - CHARTER Call 346 and SAFER Action n°070 : Israël 2010 Israël - Israel Feux de forêt - Forest Fires.

SERTIT (2010b). Action SAFER n°056 - SAFER action N°056 Départements de l'Hérault et des Bouches-du-Rhône - France - Hérault and Bouches-du-Rhône departments - France Incendies dans les secteurs de Montpellier et Marseille - Fires in the Montpellier and Marseille areas.

SERTIT (2011a). Action SAFER n°111 : Ile de la Réunion 2011 SAFER Action No. 111: Reunion Island 2011 France - France Feux de forêt - Forest fires.

SERTIT (2011b). Action SAFER n°101 : Grèce 2011 SAFER Action n°101 : Greece 2011 Grèce - Greece Feux de forêt - Forest fires.

Siegert, F., and Hoffmann, A.A. (2000). The 1998 Forest Fires in East Kalimantan (Indonesia): A Quantitative Evaluation Using High Resolution, Multitemporal ERS-2 SAR Images and NOAA-AVHRR Hotspot Data. *Remote Sens. Environ.* 72, 64–77.

Sunderman, S.O., and Weisberg, P.J. (2011). Remote sensing approaches for reconstructing fire perimeters and burn severity mosaics in desert spring ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 115, 2384–2389.

Tanase, M.A., Santoro, M., Wegmüller, U., de la Riva, J., and Pérez-Cabello, F. (2010). Properties of X-, C- and L-band repeat-pass interferometric SAR coherence in Mediterranean pine forests affected by fires. *Remote Sens. Environ.* *114*, 2182–2194.

Zammit, O., Descombes, X., and Zerubia, J. (2007). Assessment of different classification algorithms for burnt land discrimination. *Ieee Int. Geosci. Remote Sens. Symp. Igarss 2007 July 23-28 2007 Barc. Spain Proc. Ieee 2007* 3000–3003.