



Rapport final

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

Lot 2 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux

Bluecham SAS
Editeur : OEIL.

Juillet 2013

Observatoire de l'environnement
Province Sud • Nouvelle-Calédonie



**BLUE
CHAM**
Comprendre la Terre pour mieux la préserver



OEIL

SUIVI DU DOCUMENT				
Titre du document : ETUDE DE FAISABILITE POUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FEUX - LOT 2 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux				
Version	Révision	Date		Description
1	0	26/03/2013	Jonathan Maura	Structuration et mise en place des éléments de contexte Rédaction
1	2	26/03/2013	Jonathan Maura	Rédaction
1	3	05/2013	Remi Andréoli	Rédaction
1	4	06/2013	Jonathan Maura	Rédaction
1	5	05-25/06/2013	Remi Andréoli	Rédaction
1	6	05-25/06/2013	Jonathan Maura	Rédaction
1	7	01-11/07/2013	Jonathan Maura	Rédaction
1	8	01-11/07/2013	Rémi Andréoli	Rédaction
1	9	12/07/2013	Didier Lille	Relecture
1	10	26/07/2013	OEIL	Commentaires
1	11	01-08/08/2013	Jonathan Maura	Modifications
1	12	21/08/2013 Au 27/09/2013	Jonathan Maura & Rémi Andréoli	Document final : Prise en compte des remarques suite à la réunion du 09/08/2013
1	13	28/10/2013	Jonathan Maura	Modifications demandés par l'OEIL
1	14	05/02/2014	OEIL Rémi Andreoli	Commentaires Modifications

Sommaire

Chapitre I - Résumé.....	6
Chapitre II - Présentation générale du projet	7
II.1. Rappel de la lettre de commande	7
II.2. Rappel du lot 2 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux	8
II.2.1. Objectifs	8
II.2.2. Méthode	8
II.2.3. Livrables	9
II.3. Rappel des besoins (Lot 1)	9
Chapitre III - Définition du suivi et constitution des indicateurs	10
III.1. Définitions.....	10
III.1.1. Définition de la notion de suivi d'impact environnemental	10
III.1.2. Détermination des critères d'une étude d'impact	11
III.1.2.a. Critères de l'impact	11
III.1.2.b. Qualification de l'impact	12
III.1.2.c. Synthèse	12
III.1.3. Définition de la notion d'indicateur	12
III.1.3.a. Caractéristiques d'un indicateur.....	13
III.1.3.b. Définition du cadre de travail « PER »	13
III.1.3.c. Indicateurs de pression	14
III.1.3.d. Indicateurs d'état.....	14
III.1.3.e. Indicateurs de réponse	14
III.1.4. Caractérisation d'un feu	14
III.1.4.a. Les types de feu	15
III.1.4.b. Comportement du feu	16
III.1.4.c. Régime d'incendies	16
III.1.5. Caractérisation de l'impact environnemental des feux.....	17
III.2. Création des indicateurs	21
III.2.1. Fiche type indicateur	21
III.2.2. Indicateurs retenus dans le cadre du suivi environnemental des feux	24
III.2.2.a. Indicateurs de pression :	24
III.2.2.b. Indicateurs d'état :	25
III.2.2.c. Indicateurs de réponse :	25
III.2.2.d. Synthèse des indicateurs proposés	25
Chapitre IV - Indicateurs du suivi	28

IV.1. Indicateurs opérationnels.....	28
IV.1.1. Indicateurs de caractérisation des feux.....	28
IV.1.1.a. Recensement annuel des feux	28
IV.1.1.b. Fréquence des feux	32
IV.1.1.c. Temps de retour ou périodicité des feux	36
IV.1.2. Impacts des feux	39
IV.1.2.a. Surfaces brûlées	39
IV.1.2.b. Impacts environnementaux des feux sur la flore	42
IV.1.2.c. Impacts environnementaux des feux sur le micro-endémisme végétal	46
IV.2. Indicateurs opérationnels à court terme	50
IV.2.1. Données de caractérisation environnementale.....	50
IV.2.1.a. Successions végétales	50
IV.3. Prospective : Indicateurs opérationnels à moyen terme	55
IV.3.1. Fragmentation des forêts	55
IV.3.2. Structure arborescente des savanes	60
IV.3.3. Indicateurs proposés par l'OEIL	65
IV.3.3.a. Indicateurs de la richesse et de la vulnérabilité des formations végétales	65
IV.3.3.b. Autres Indicateurs d'impacts environnementaux des feux	65
IV.3.3.c. Reprise végétale de la zone brûlée	66
IV.3.3.d. Caractérisation des interfaces habitations-forêt	67
IV.3.4. Les indicateurs de réponse	67
Chapitre V - Conclusion.....	68
Chapitre VI - Bibliographie.....	71

Table des illustrations

Figure 1 : Graphique de synthèse des interactions du suivi de l'impact environnemental des feux avec les compétences des acteurs rencontrés.	9
Figure 2 : Situation du suivi de l'impact dans l'étude d'impact.....	11
Figure 3 : Graphique de synthèse de la modélisation PER – source OCDE	13
Figure 4 : Interactions entre les principaux facteurs caractérisant l'écologie du feu à différentes échelles spatiales et temporelles, D'après T.Ibanez.	15
Figure 5 : Exemple de synthèse des liens entre les différents indicateurs proposés	68
Figure 6 : schéma synthétique de la mise en place opérationnelle du suivi de l'impact environnemental des feux.	69
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]	25

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
DPPM : 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.

Les indicateurs proposés dans le cadre de cette étude reposent tout d'abord sur des paramètres de base, mutualisables pour d'autres types de suivi concernant les feux (localisation des feux, occurrence des feux), et des indicateurs spécifiques à l'estimation de l'impact environnemental des feux (fragmentation forestière, impact environnemental des feux).

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 « Protocole de suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux » viendra alors proposer une amélioration des protocoles actuels afin de palier à ce point faible.

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.

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 des acteurs de manière à définir plus précisément les 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 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, IAC, 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 2 : Proposition d'indicateurs de l'impact environnemental des feux

II.2.1. Objectifs

Ce lot permettra la définition d'indicateurs sur l'impact environnemental des feux en lien avec les besoins identifiés sur la phase d'analyse (Lot 1).

Chaque indicateur sera décrit à l'aide d'une fiche type sur un modèle proposé par le prestataire et validé par l'Observatoire.

Bluecham portera une attention particulière au caractère opérationnel des indicateurs proposés.

La méthodologie pour produire chaque indicateur sera explicitée, des exemples de représentations géographiques et graphiques ludiques et explicites, ainsi que des références scientifiques et opérationnelles seront fournis.

Les indicateurs seront abordés selon les 2 axes proposés par l'observatoire :

- indicateurs directs : nombre de départ de feux, surfaces brûlées, durée moyenne, intensité, type de surface dégradées, etc.
- indicateurs indirects : ressource en eau, érosion, développement d'espèces envahissantes, connectivité écologique, etc.

Enfin, chaque indicateur proposé sera caractérisé en termes de champs opérationnels d'application, de limite d'utilisation et d'interprétation.

II.2.2. Méthode

L'étude débutera par la constitution d'une fiche type de description des indicateurs. Le canevas proposé sera compatible aux fiches existantes et déjà utilisées par l'Observatoire pour d'autres thématiques le cas échéant. Cette fiche type sera validée préalablement par l'Observatoire.

Suite à l'analyse des rencontres avec les acteurs du suivi des feux dans le projet ainsi que de leur implication et de leurs besoins, des indicateurs préliminaires seront proposés à l'Observatoire. Ceux-ci seront caractérisés en termes de potentiel opérationnel en tant que critère déterminant, mais également en termes de « coût » de réalisation et de mise à jour, et de pertinence thématique.

Les indicateurs préliminaires validés par l'observatoire feront l'objet d'une description détaillée comprenant :

- Nom de l'indicateur
- Unité de mesure de l'indicateur
- Méthodologie de réalisation de l'indicateur
- Coût de maintien opérationnel de l'indicateur
- Limites de l'indicateur
- Contraintes
- Proposition de représentation graphique et/ou géographique de l'indicateur.

II.2.3. Livrables

- Un rapport compilant les fiches type pour chaque indicateur
- Un diaporama présentant les indicateurs.

II.3. Rappel des besoins (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.

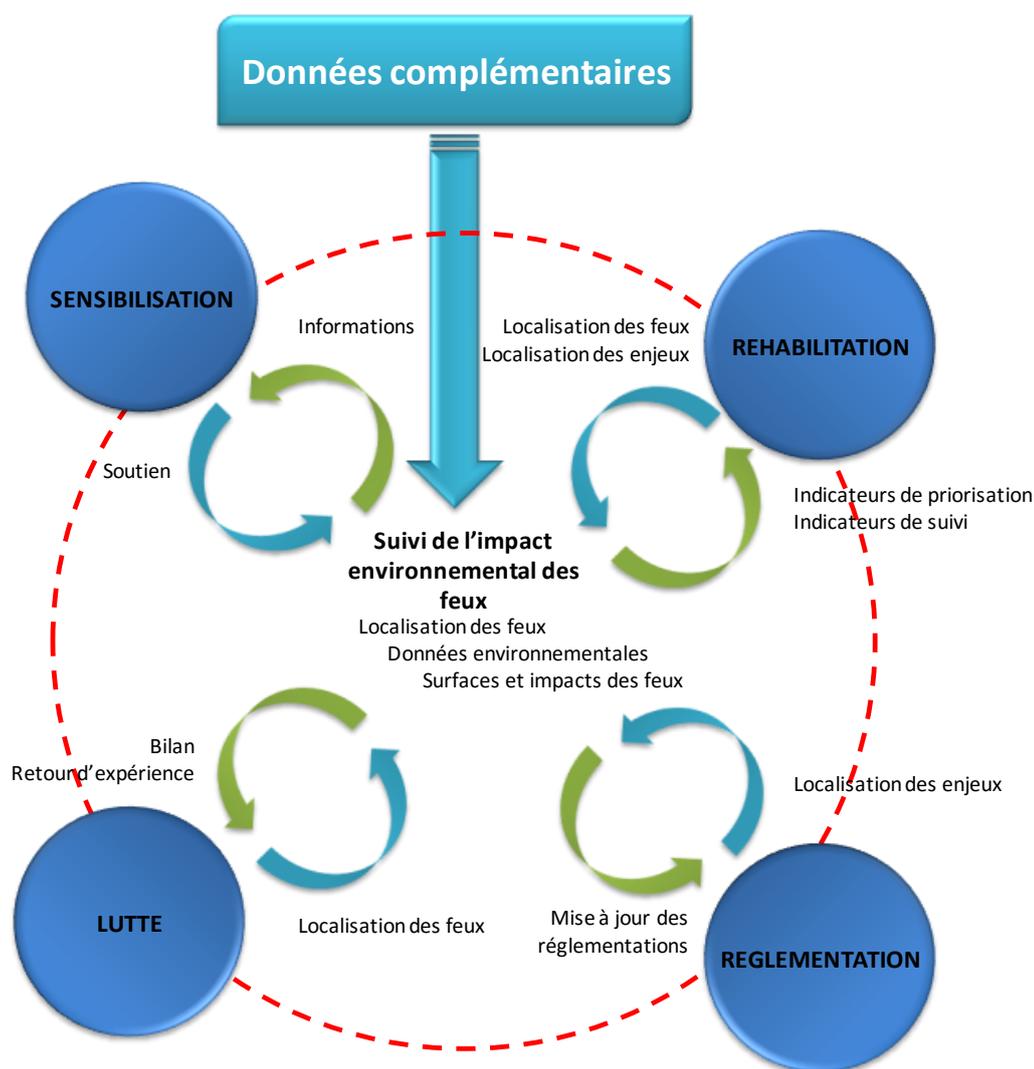


Figure 1 : Graphique de synthèse des interactions du suivi de l'impact environnemental des feux avec les compétences des acteurs rencontrés.

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".

Chapitre III - Définition du suivi et constitution des indicateurs

III.1. Définitions

Ce paragraphe pose les bases générales des notions de suivi d'impact, mais aussi des concepts autour des études d'impact, ou encore des indicateurs. Ces paragraphes permettront de fournir un cadre de réflexion avant de se focaliser sur le cas particulier du feu avec sa caractérisation et son impact, afin de proposer les indicateurs du suivi. Il s'appuie sur les sources suivantes :

- L'Institut national de l'environnement industriel et des risques INERIS : Guide de Management SSE¹,
- Le site du ministère français de l'écologie, du développement durable et de l'énergie²,
- Le ministère du Développement durable, de l'environnement de la Faune et des parcs du Québec³,
- Wikipédia.

III.1.1. Définition de la notion de suivi d'impact environnemental

L'**impact environnemental** désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé...

Cette notion est souvent liée à celle des études d'impacts environnementales sur les milieux biophysique et humain qui sont requises pour une majorité de projets. Elles sont nécessaires et obligatoires pour les projets d'envergures et sont habituellement assorties de mesures d'atténuation et/ou de mitigation et/ou de mise en valeur et/ou de formules compensatoires et/ou de mesures de conservation ou de restauration.

¹http://www.ineris.fr/guide-sse/guide/fiches/fiche_2/Fiche_02_a2.htm

²<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Evaluation-environnementale,431-.html>

³<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/>

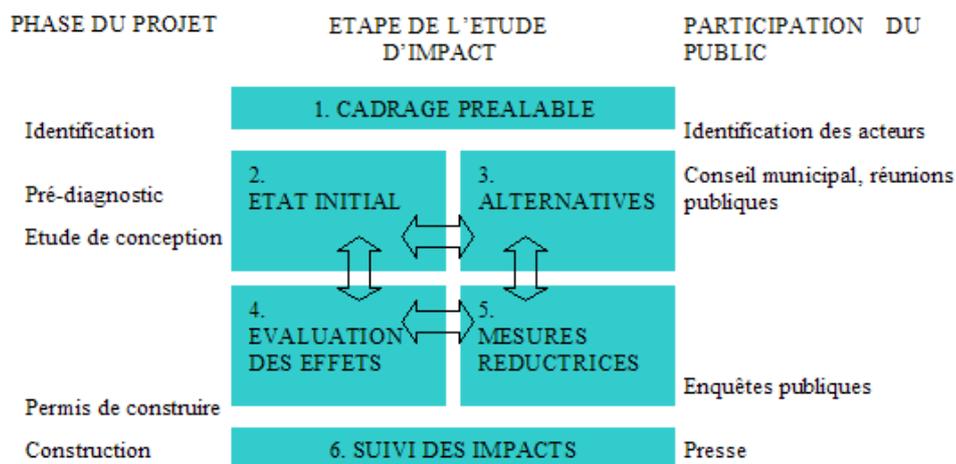


Figure 2 : Situation du suivi de l'impact dans l'étude d'impact.

Synthèse :

Un projet de suivi de l'impact environnemental doit s'accompagner d'une réflexion sur les mesures d'atténuation, les formules compensatoires et les mesures de conservation ou de restauration éventuelles.

Cette réflexion doit être menée en amont de la mise en place opérationnelle du suivi par l'ensemble des acteurs concernés.

Cette réflexion doit permettre d'orienter puis dans une phase d'optimisation de modifier et enrichir la première proposition d'indicateurs.

III.1.2. Détermination des critères d'une étude d'impact

Les études d'impact s'appuient sur la détermination de critères appropriés pour orienter les choix et la prise de décision. Un certains nombres de critères et de qualification sont présentés ici, afin de s'en inspirer lors de la création des indicateurs du suivi.

III.1.2.a. Critères de l'impact

Des critères indissociables guident les études d'impacts :

- **l'étendue de l'impact** : changement de la mesure d'une variable de l'environnement, tant au niveau spatial que temporel. Elle peut représenter une mesure (par exemple la superficie d'un peuplement forestier inondé par la mise en eau d'un barrage) ou une prédiction (l'accroissement sonore suite à la construction d'un projet routier par exemple), mais de façon quantifiable.
- **Intensité ou ampleurs des modifications** : degré de perturbation du milieu, variable selon le degré de sensibilité ou de vulnérabilité de la structure.
- **La durée de l'impact** : aspect temporel avec les caractères de réversibilité.
- **La fréquence de l'impact** : caractère intermittent ou occurrence.
- **Le niveau d'incertitude** : probabilité que l'impact se produise.

III.1.2.b. Qualification de l'impact

Les impacts peuvent alors être qualifiés :

- **Impact direct** : exprime une relation de cause à effet entre une composante du projet et un élément de l'environnement.
- **Impact indirect** : découle d'un impact direct et lui succède dans une chaîne de conséquences.
- **Impact cumulatif** : résultat d'une combinaison d'impacts générés par un même projet ou par plusieurs projets dans le temps (passé, présent ou avenir) et dans l'espace.
- **Impact résiduel** : impact subsistant après l'application d'une mesure d'atténuation.

III.1.2.c. Synthèse

Lors de la définition des indicateurs de l'impact des feux, il est important de couvrir les différents aspects d'un impact environnemental :

- son étendue,
- son intensité /ampleur,
- sa durée,
- sa fréquence,
- sa probabilité d'occurrence.

De la même manière, il sera intéressant de couvrir l'impact direct et indirect des feux sur les écosystèmes de la Nouvelle-Calédonie. Les notions d'impact cumulatif ou résiduel semblent plus complexes à aborder dans le cadre du suivi de l'impact environnemental des feux.

III.1.3. Définition de la notion d'indicateur

Un **indicateur** est un outil d'évaluation et d'aide à la décision (pilotage, ajustements et rétro correction) grâce auquel on va pouvoir mesurer une situation ou une tendance, de façon relativement objective, à un instant donné, ou dans le temps et/ou l'espace. Il traduit des données et statistiques en une information succincte et claire.

Un indicateur se veut être un résumé d'informations complexes offrant la possibilité à des acteurs différents (scientifiques, gestionnaires, politiques et citoyens) de dialoguer entre eux.

L'indicateur (qualitatif ou quantitatif) décrit généralement un état, une pression et/ou une réponse ne pouvant être appréhendés directement.

Un indicateur peut en agréger d'autres. Pour un indicateur agrégé, on parle plus souvent d'indice. Il doit exister une relation causale entre le fait mesuré (indiqué) et l'indicateur.

L'utilité d'un indicateur dépend d'abord de sa capacité à refléter la réalité, mais aussi de sa simplicité d'acquisition et de compréhension.

Un indicateur peut être thématique (associé à un thème sur un territoire particulier) ou géographique. Un indicateur géographique montre ainsi une information ayant une référence spatiale.

- Les indicateurs thématiques sont définis par l'association d'un ensemble de valeurs à un objet géographique (ex. : le nombre de feux au sein d'une unité de carroyage DFCI) ;
- Les indicateurs spatiaux nous informent sur l'organisation de l'objet dans l'espace. Il est utilisé comme un élément de base dans l'analyse spatiale (ex. : fragmentation des forêts).

Le choix des indicateurs pertinents doit être conduit en gardant à l'esprit les finalités des indicateurs :

- la description d'une situation et de son évolution,
- l'évaluation de la situation,

- la comparaison dans le temps de la situation, et
- la communication à des fins de sensibilisation.

III.1.3.a. Caractéristiques d'un indicateur

Un indicateur efficace doit répondre à plusieurs critères :

- Robuste, fiable, précis, représentatif et donc spécifique (il doit refléter effectivement les variations de ce qu'il est censé synthétiser ou mesurer);
- Compréhensible et utilisable par tous les acteurs (Protocole simple et applicable dans le temps);
- Pertinent par rapport à l'objectif concerné (par exemple pour mettre en évidence les liens entre les différents composants du système ou de l'écosystème);
- Coût acceptable par rapport au service qu'il rend;
- Avoir une temporalité (ou une échéance);
- Transparent: la méthode est décrite, reproductible et scientifiquement fondée;
- Calculé à partir de données disponibles ou mobilisables à court terme, de bonne qualité, régulièrement mises à jour et bien documentées;
- Comparable dans l'espace et le temps.

III.1.3.b. Définition du cadre de travail « PER »

The pressure-state-response framework is based on a concept of causality: human activities exert pressure on the environment and change its quality and the quantity of natural resources (the « state » box). Society responds to these changes through environmental, general economic and sectoral policies » (the « societal responses ») (OCDE, 1994)

Le modèle PER de l'OCDE a pour objectif pour chaque Indicateur environnemental de distinguer la Pression exercées par l'activité humaine sur l'environnement, l'État de l'environnement qui en résulte, et la Réponse apportée.

Il faut bien distinguer les indicateurs "P", "E" et "R", du "modèle PER". Le fait de présenter des indicateurs d'Etat, Pressions et Réponses est une condition nécessaire mais pas suffisante pour parler de modélisation PER. Pour avoir valeur de modèle, des relations causales doivent être établies entre les indicateurs de chaque triplet.

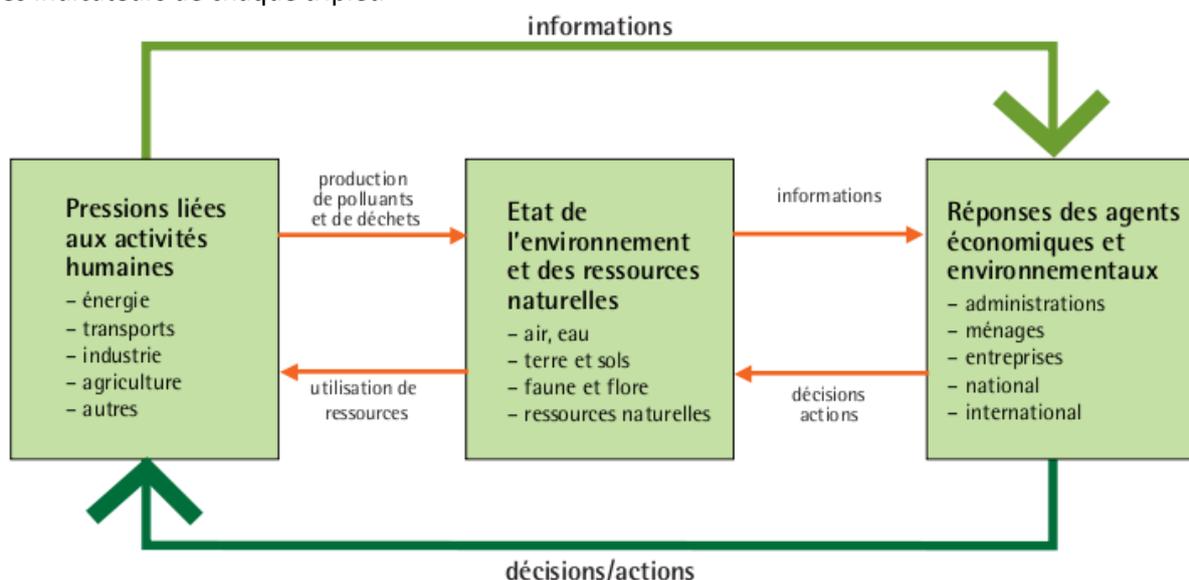


Figure 3 : Graphique de synthèse de la modélisation PER – source OCDE

Synthèse :

Le cadre de travail Pression /Etat / Réponse permet une approche intuitive, simple et intelligible (pédagogique), mais sous-entend des relations « linéaires » entre les activités humaines et l'état de la biodiversité (OCDE, 1994), qui peut dissimuler la complexité des interactions et proposer une vision sans dynamique propre à la biodiversité (nature figée, pas d'adaptation).

Ce système sera employé uniquement afin de structurer et classer les indicateurs proposés dans le cadre de l'étude.

III.1.3.c. Indicateurs de pression

Ils décrivent souvent les altérations d'un système. On distingue :

- les pressions directes (Par exemple : pollutions, prélèvements de ressources peu renouvelables...)
- les pressions indirectes (Par exemple : dégradations de milieux naturels, fragmentation des habitats...).

III.1.3.d. Indicateurs d'état

Ils mesurent à l'instant T l'état d'un système, soit pour le comparer avec un ou des états antérieurs, soit pour le comparer ensuite avec des mesures successives pour mesurer une tendance. Dans la mesure du possible, ces indicateurs se rapporteront à la qualité et à la quantité.

III.1.3.e. Indicateurs de réponse

Ils illustrent l'état d'avancement des mesures prises (par exemple, dans le domaine de l'environnement : restauration, de la protection et/ou de la gestion des écosystèmes et de la biodiversité).

III.1.4. Caractérisation d'un feu

Cette partie vise à décrire les différents éléments de caractérisation des feux afin de proposer une base de réflexion guidant la création des indicateurs. Elle se base sur le travail de thèse de T.Ibanez, notamment les parties de comportement du feu et de description des régimes.

Les incendies – feux ou combustions non maîtrisés dans le temps et dans l'espace – affectent à différentes échelles spatiales et temporelles les dynamiques des forêts denses humides et des savanes. L'impact des incendies sur la végétation ou plus largement sur un écosystème donné dépend de leurs régimes et notamment de la composante « comportement ».

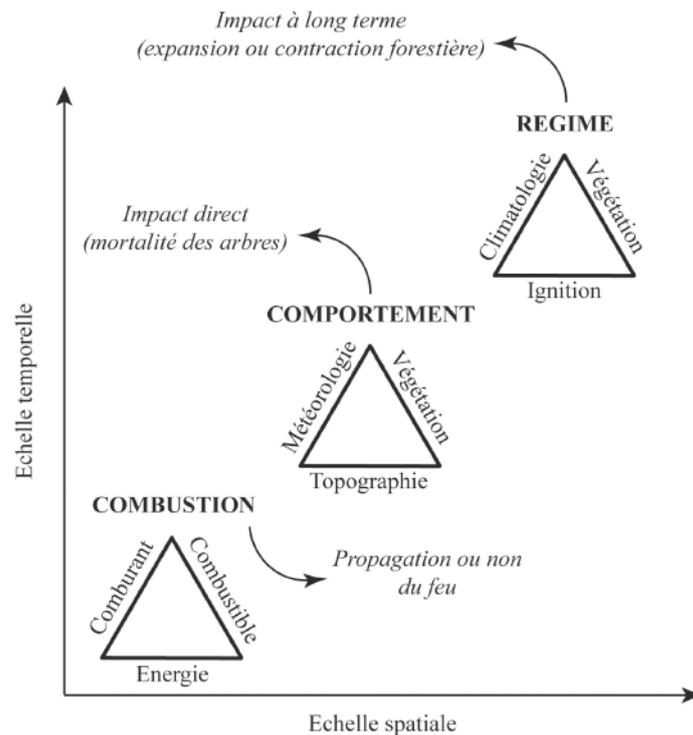


Figure 4 : Interactions entre les principaux facteurs caractérisant l'écologie du feu à différentes échelles spatiales et temporelles, D'après T.Ibanez.

Synthèse :

Dans le cadre de cette étude, l'échelle essentielle de travail sera celle du « comportement » et certaines facettes du « régime » d'un feu. L'aspect « combustion » du feu relève du domaine de l'opérationnel et ne sera pas concerné dans la présente étude.

III.1.4.a. Les types de feu

Cette partie se focalise sur la description des types de feux afin d'améliorer la compréhension de ses différentes formes. Cette caractéristique ne sera pas déclinée dans les indicateurs du suivi environnemental des feux car relevant plus d'une compétence opérationnelle de gestion des feux.

Un feu peut prendre différentes formes selon les caractéristiques de la végétation dans laquelle il se développe. On distingue trois types de feu. Ils peuvent se produire simultanément sur une même zone.

- (1) **Les feux de sol** qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Leur vitesse de propagation est faible. Bien que peu virulents, ils peuvent être très destructeurs en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux. Ils peuvent également couvrir en profondeur ce qui rend plus difficile leur extinction complète.
- (2) **Les feux de surface** qui brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils affectent la garrigue ou les landes. Leur propagation peut être rapide lorsqu'ils se développent librement et que les conditions de vent ou de relief y sont favorables (feux de pente).

- (3) **Les feux de cimes** qui brûlent la partie supérieure des arbres et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et la végétation sèche.

III.1.4.b. Comportement du feu

La combustion ne peut se produire qu'en présence et dans les bonnes proportions de trois éléments : combustible, comburant (oxygène) et énergie d'activation.

Le comportement du feu (c'est à dire les caractéristiques de sa propagation), détermine son impact potentiel à court terme sur la végétation.

Le comportement d'un feu est principalement caractérisé en terme :

- de type (feu de sol, de surface et / ou de couronne),
- de vitesse de propagation ($m.s^{-1}$) ou de temps de résidence (s),
- de longueur et de hauteur de flamme (m),
- d'intensité (i.e. la quantité de chaleur ou d'énergie émise par la combustion, exprimée en $kW.m^{-2}$),
- et de profondeur (m) du front de flamme.

Le temps de résidence, l'intensité et la profondeur du front de flamme déterminent la quantité d'énergie transférée par le feu, alors que le type de feu et la hauteur de flamme (qui dépend de l'intensité du feu, de la topographie et du vent) déterminent quelles parties de la végétation y sont exposées (e.g. Michaletz and Johnson 2006; Van Wagner 1973).

Finalement, la sévérité d'un incendie – son impact réel – sur l'écosystème et notamment sur la végétation dépend à la fois de son comportement mais aussi de la tolérance aux incendies de cette végétation (Keeley 2009). Ainsi les feux de savane sont souvent peu sévère car la végétation y est adaptée, alors que les feux se propageant dans le sous-bois des forêts denses humides, bien que moins intense, ont une sévérité plus élevée étant donné que les essences forestières sont peu tolérantes aux incendies (e.g. Hoffmann et al. 2003; Nepstad et al. 1999).

Synthèse :

Impact immédiat du feu = f(Comportement des feux, tolérance de la végétation aux incendies)

Dans le cadre de ce suivi, et dans un souci de simplicité de mise en œuvre, le comportement physique des feux sera pris en compte de manière indirecte : dans sa traduction en terme d'impact. Toutefois, l'impact mesuré pourra être entaché de biais liés à des dynamiques de feux particulières.

III.1.4.c. Régime d'incendies

Le régime des incendies est caractérisé par la distribution spatio-temporelle des feux en fonction de leur sévérité. A moyen et long termes, le régime des feux est un facteur déterminant de la structuration des écosystèmes et de leurs dynamiques (e.g. Franklin et al. 2001; Liedloff and Cook 2007; McCoy et al. 1999; Perry and Enright 2002; Perry et al. 2001).

La caractérisation du régime des feux fait intervenir des variables complexes spatio-temporelles pour chaque incendie. Ainsi l'occurrence ou la fréquence des feux, l'intervalle de temps entre chaque feu,

l'étendue des feux, le type de feu et son comportement (vitesse, intensité) sont les paramètres essentiels de la caractérisation du régime des feux sur un secteur donné.

Synthèse :

Le régime des feux apparait clairement ici comme un paramètre déterminant sur les effets des incendies à moyen et long termes. La composante primordiale du régime des feux couvre les aspects temporels des feux (la date, l'occurrence et la durée de chaque feu). Les composantes spatiales et comportementales des feux seront spécifiques à chaque feu et leur appréciation pourra être complexe à obtenir de manière représentative.

Impact environnemental des feux = f(Régime des feux, tolérance de la végétation aux incendies)

III.1.5. Caractérisation de l'impact environnemental des feux

Dans le cas du feu, l'impact sur le milieu naturel est complexe. L'impact peut intervenir :

- sur la flore:

Le passage d'un feu se traduit par l'altération plus ou moins poussée d'organes vitaux et de reproduction du végétal, au niveau du feuillage, du tronc et des racines. Il en découle une perte de vigueur de l'arbre pouvant entraîner sa mort.

Effets sur la reproduction : Des températures très élevées détruisent les moyens de régénération, en revanche, des feux modérés peuvent permettre une meilleure régénération de certains arbres en accélérant la maturation des graines et leur dissémination.

Effets sur le feuillage : Réduction de l'activité photosynthétique et de la croissance du végétal.

Effets sur le tronc : Selon l'épaisseur de l'écorce, l'arbre est plus ou moins sensible au feu. Par exemple, le niaouli (*Melaleucaquinquenervia*) est une plante pyrophyte passive et possède une très bonne résistance au feu grâce à son écorce épaisse et isolante, mais certains arbres mourront quelques temps après l'incendie.

Effets sur les racines : La destruction des racines entraîne la mort de l'arbre. Par exemple, selon l'intensité du feu, les dégâts peuvent aller jusqu'à la destruction de peuplements de chêne gomme (communication orale IMBE).

L'affaiblissement de l'arbre le rend plus vulnérable aux parasites, il peut alors devenir un foyer de contagion de la végétation voisine.

Effets sur la dynamique de la végétation : Après un incendie, la végétation peut retourner à son état initial, sans intervention humaine. La vitesse de régénération peut dépendre entre autre du régime des incendies (intensité et fréquence), ainsi que des caractéristiques des substrats (Voir entretien avec le WWF).

Extrait de la réunion avec Hubert Géraux, WWF NC

Caractérisation de l'impact en fonction du substrat ultramafique (1) ou volcano-sédimentaire (2)

- (1) *l'impact très fort car la végétation pousse très doucement, la recolonisation par entrée de nouvelle semence est très lente - mais les sols ultramafiques sont des barrières chimiques contre les invasions biologiques.*
- (2) *La végétation pousse plus « vite », il n'y a pas de « barrière chimique » du sol, mais du coup on observe plus facilement le développement d'invasives : lantana, sensitive géante ... Ces milieux sont très vite colonisés et cela se fait aux dépens de la flore native*

Extrait de : « Impact des feux de brousse sur le milieu naturel en Nouvelle-Calédonie », Jaffré et al.1997

L'action néfaste sur la diversité floristique est d'autant plus grave que le substrat est facilement colonisé par des espèces introduites. De ce fait la végétation des sols d'origine ultramafique qui constituent une barrière écologique à l'installation de nombreuses espèces pantropicales introduites (Jaffré 1980, Jaffré et al. 1994) [qui] résistent] mieux aux feux que celle des roches sédimentaires ou volcaniques.

- Sur le sol :

Le passage du feu agit sur la structure et la composition du sol et sur les micro-organismes présents : il détruit la micro faune et réduit la fertilité à moyen terme. Il entraîne également des risques d'érosion dont la gravité dépend du type de sol, de la pente et de l'intensité des précipitations. Des pluies violentes peuvent entraîner des inondations, des glissements de terrain ou encore des coulées de boue, causant des dégâts considérables.

- Sur la faune :

Les dégâts causés à la faune dépendent de l'intensité, du type et de la vitesse de propagation du feu ainsi que de la capacité de fuite de la faune, mais également de la saison (pendant la nidification par exemple). De façon générale, beaucoup d'animaux fuient suite à la destruction de leur habitat et des ressources alimentaires. Cette composante reste encore mal connue en Nouvelle-Calédonie par manque d'étude scientifique sur le sujet (Compte rendu d'entretien IMBE).

D'autres aspects peuvent être pris en compte qui sont les pertes économiques ou encore la notion de valeur écosystémique du milieu dégradé. L'incendie engendre des pertes économiques directes dues à la destruction de la forêt et aux moyens de lutte déployés (Compte rendu d'entretien APICAN et Sécurité Civile sur les aspects financiers des moyens de lutte).

Compartiment de l'écosystème	Composant atteint	Effets observés	Facteur d'augmentation /réduction des effets
La flore	Les organes vitaux du végétal	Perte de vigueur de l'arbre voire sénescence	Comportement du feu
	Le feuillage	Réduction de l'activité photosynthétique et de la croissance du végétal.	Comportement du feu
	Le tronc	Certaines atteintes peuvent entraîner la sénescence. <i>Contre exemple le Niaouli</i>	Comportement du feu
	Les racines	La destruction entraîne la sénescence	Comportement du feu
	Richesse des espèces	Appauvrissement de la biodiversité	Comportement du feu
	Les organes de reproduction	Meilleure régénération de certains arbres en accélérant la maturation des graines et leur dissémination, c'est à dire installations d'espèces pyrophytes ou pyrophyllle au détriment des espèces natives.	Nature du substrat (ultramafique ou volcano-sédimentaire), et du type de végétation présente (la forêt ou le para-forestier se régénéreront plus lentement que la savane), occurrence des incendies.
	Global	Affaiblissement, vulnérable aux parasites. Pertes de la capacité de régénérations à l'échelle d'un peuplement si le nombre d'individus présent est insuffisant et/ou si le peuplement est trop fragmenté (notion de corridor écologique)	Surface du peuplement, Distance de connexion à d'autres peuplements.
La faune	Habitats et ressources	Fuite suite à la destruction de leur habitat et des ressources alimentaires. Mort des individus à la capacité de fuite limitée.	Comportement du feu, saisonnalité en lien avec période de nidification, capacité de fuite de la faune.
Le sol	Les micro-organismes présents	Destruction de la micro faune et réduction de la fertilité à moyen terme	Comportement du feu
	La structure et la composition du sol	Augmentation du risque d'érosion dont la gravité dépend du type de sol Des inondations, des glissements de terrain, des coulées de boue ou encore modification de l'infiltration des eaux (atteinte potentielle à la ressource en eau).	Comportement du feu, fréquence des feux. -

Synthèse :

Dans le cadre d'un suivi de l'impact environnemental des feux, les effets suivants pourraient être observés à l'échelle du peuplement forestier :

- Réduction de l'activité photosynthétique** ou sénescence,
- Régénération** des peuplements (reprise végétale),
- Fragmentation** des écosystèmes.

Les effets observés sur la faune et le sol pourront permettre la création d'indicateurs indirects, obtenus par croisement d'information de base sur les feux avec des informations environnementales complémentaires (Risque d'érosion, zone de nidification...).

Le « comportement du feu » détermine l'impact à court terme d'un feu. Le « régime des feux » est une composante déterminant les impacts environnementaux à moyen et long terme.

Une partie des données pertinentes pour le suivi de l'impact environnemental des feux peut être acquise de manière directe ou indirecte par les moyens modernes d'observation satellitaires.

III.2. Création des indicateurs

Cette partie propose une fiche type d'indicateur en suivant les définitions vu au Chapitre III.1. et une vision croisée entre les caractéristiques des feux, leurs effets sur l'environnement et les besoins exprimés par les utilisateurs du suivi de l'impact environnemental des feux, afin de mieux se focaliser sur les usages de ce suivi.

III.2.1. Fiche type indicateur

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Titre de l'indicateur</i>	
Version	<i>Version de l'indicateur</i>	
Définition	<i>Définition de l'indicateur et objectif auquel il se rattache</i>	
Type de variable	<i>Qualitative / quantitative</i>	
Intervalle de variation de la variable	<i>Continue (bornes) / discrète (code) / attributs</i>	
Unité de mesure	<i>%, ha, sans unité, etc.</i>	
Type d'indicateur	<i>Thématique / spatial</i>	
Modalité d'interprétation	<i>préciser la signification, les modalités de lecture et de compréhension de l'indicateur</i>	
Valeur cible	<i>Oui (valeur et préciser) / Non</i>	
Sous-indicateurs	<i>Libellés des sous-indicateurs</i>	
Périodicité de la mesure	<i>Fréquence temporelle de mesure des données source de l'indicateur</i>	
Pas de temps de restitution	<i>Fréquence temporelle de mise à jour de l'indicateur</i>	
Dernier résultat connu	<i>Année</i>	<i>Valeur</i>
Date de publication de la première valeur de la série	<i>Jj/mm/aaaa de publication de la première valeur de cet indicateur</i>	
Continuité de la série	<i>Oui / Non (si non indiquer les lacunes)</i>	
Possibilité de rétro-calcul		
Niveau d'appropriation	<i>Grand public / Expert</i>	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire, Province, Commune, etc.</i>	

Gain(s) de précision d'échelle	<i>A une échelle donnée et selon un type de représentation/ type de donnée (discrète, continue), l'information va être plus riche en contenu informatif.</i>
Echelle de restitution	<i>1/X</i>
Précision spatiale	<i>Précision en unité</i>
Précision thématique	<i>Précision en unité</i>
Coût	<i>Valeur ou estimation</i>

Généalogie de l'indicateur

Nature précise des données de base	
Généalogie des données de base	
Mode de calcul	
Producteur(s)	
Modalité d'acquisition des données	<i>Méthodologie employée pour obtenir les données</i>
Accessibilité des données	<p><i>Localisation</i> : On évalue l'effort de prospection et donc le temps nécessaire à la localisation de l'information. L'évaluation se base sur le nombre de sources d'informations valides identifiées.</p> <p>Code couleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vert : information localisée auprès d'une à quatre sources ; - Orange : information localisée auprès de cinq à dix sources ; - Rouge : information localisée auprès de plus de 10 sources ; <p>Noir : information inexistante ou non localisée.</p>
Délais d'acquisition	<p>Les délais d'acquisition sont évalués en fonction de la capacité des sources à mobiliser l'information.</p> <p>Code couleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vert : données en libre accès ou acquisition quasi immédiate (< 2 Semaines) ; - Orange : délais à prendre en considération (Entre 2 et 6 semaines) ; - Rouge : délais très important (> 6 semaines) ; <p>Noir : aucun échange envisageable ou données inexistantes.</p>
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	
Qualité des données sources	
Avantages	
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Point / ligne / polygone</i>
Sémiologie graphique	
Exemple	

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	<i>Suggestions pour l'amélioration de l'indicateur : acquisition des données, modalités de traitement, l'amélioration de la représentativité de l'indicateur ou autres.</i>
Références bibliographiques	<i>Les documents utiles pour approfondir le sujet traité par l'indicateur sont listés ici.</i>

III.2.2. Indicateurs retenus dans le cadre du suivi environnemental des feux

Les paragraphes précédents indiquent que l'impact environnemental des feux est fonction :

- d'abord de la tolérance de la végétation aux feux et de son adaptation aux régimes et comportement des feux ;
- ensuite du comportement et du régime des feux.

Il apparait dans cette analyse que le comportement des feux agit sur l'impact immédiat de l'incendie sur son milieu alors que le régime des feux aura une influence à plus long terme sur la structuration des paysages et les écosystèmes.

Aussi cette analyse renforce les besoins exprimés par les utilisateurs mettant en besoins prioritaires des informations concernant :

- **le régime des feux** : localisation des feux, fréquence des feux, surfaces brûlées ;
- **la tolérance de la végétation vis-à-vis des feux** : données environnementales centrées sur la thématique « feu ».

Les indicateurs proposés dans le cadre de cette étude de faisabilité caractérisent donc le régime des feux et la caractérisation des écosystèmes. Ceux-ci sont classés en fonction du modèle PER. Une attention particulière est apportée sur le fait que ces indicateurs doivent être simples d'interprétations, robustes et reproductibles.

Les indicateurs proposées ici sont des indicateurs de « tendance » et ne sont pas forcément lisibles au travers d'une grille de lecture avec des seuils. Ces premiers indicateurs viennent amorcer le travail sur l'évaluation de l'impact environnemental des feux. Une analyse rétrospective, après une première année de fonctionnement, permettra de revenir sur ces grilles de lecture et seuillage.

III.2.2.a. Indicateurs de pression :

Les indicateurs de pression proposés concernent :

- **Directs** : Recensement annuel des feux (localisation), Fréquence des feux, surfaces brûlées
- **Indirects** : Caractérisation des milieux impactés (Impacts environnementaux des feux sur la flore, sur le micro-endémisme...), fragmentation des forêts

Une attention particulière sera apportée aux données sources pour le recensement des feux. Cette information apparait, pour l'ensemble d'un dispositif de suivi des feux (opérationnel, d'impact environnemental) indispensable à l'efficacité du dispositif. Cette donnée peut être mutualisée dans le cadre d'autres suivis autour de la thématique "feux".

Concernant la caractérisation de la fragmentation des forêts, le niveau de connexion des ilots, doit être précisé, notamment par le biais des distances de régénération des ilots ou encore de la taille minimale de viabilité d'un ilot. Ces connaissances sont encore actuellement lacunaires et les résultats de l'étude « Corifor⁴ » viendront alors préciser et compléter ces indicateurs.

⁴ Cf. Entretien IRD

III.2.2.b. Indicateurs d'état :

Les indicateurs d'état retenus dans le cadre de cette étude de faisabilité sont :

- Direct : Successions végétales (typologie de la végétation);
- Indirect : Temps de retour ou périodicité des feux, Reprise végétale sur zones brûlées, structure arborescente des savanes, Indicateur de vulnérabilité des formations végétales face au feu, Caractérisation des interfaces habitat-forêt.

L'indicateur de successions végétales (typologie de la végétation), en tant qu'indicateur qualitatif d'état, doit nécessairement prendre en compte les écosystèmes d'intérêt dans le cadre d'un suivi de l'impact environnemental des feux : types de végétation fortement vulnérables au feu (forêt, maquis miniers) et les types de végétation caractérisant la dynamique des feux (maquis ligno-herbacé de pente et maquis ligno-herbacé à fougère, savanes ouvertes, savanes à niaoulis).

La reprise végétale sur zone brûlée et la structure arborescente des savanes devront être envisagées de manière quantitative afin de permettre un suivi temporel de l'état.

III.2.2.c. Indicateurs de réponse :

Les indicateurs de réponses sélectionnés par cette étude de faisabilité sont :

- Direct : moyens financiers engagés dans la lutte et la sensibilisation contre les feux ;
- Indirect : surfaces revégétalisées.

III.2.2.d. Synthèse des indicateurs proposés

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]

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	1
Impacts environnementaux des feux sur la flore	P indirect	Ampleur	2
Impacts environnementaux des feux sur les services éco - systémiques	P indirect	Ampleur	3
Impacts environnementaux des feux sur la valeur	P indirect	Ampleur	3

patrimoniaire de l'écosystème			
Impacts environnementaux des feux sur le micro endémisme	P indirect	Ampleur	2
Impacts environnementaux des feux sur la faune	P indirect	Ampleur	3
Impacts environnementaux des feux sur les sols	P indirect	Ampleur	3
Fragmentation des forêts par le feu	P indirect	Ampleur	1
Reprise végétale de la zone brûlée	E indirect	Intensité	2
Structure arborescente des savanes	E indirect	Intensité, Fréquence	1
Moyens financier pour la lutte (déployés au sol et aériens) et la sensibilisation	R direct	-	3
Moyens financier pour la revégétalisation (surface replantée)	R indirect	-	3
Indicateur d'atteinte à la vulnérabilité des formations végétales face au feu	E indirect	-	3
Caractérisation des interfaces habitat-forêt	E indirect	-	3

Les besoins utilisateurs exprimés en termes de données et d'indicateur (lot 1 de cette étude) mettent en avant le besoin essentiel et consensuel de localiser précisément les feux comme base à tout suivi. Dans un second temps, certains utilisateurs expriment le besoin de disposer des surfaces brûlées selon leurs prérogatives (Lot 1 de cette étude). L'OEIL estime que les surfaces brûlées constituent l'indicateur primordial de suivi de l'impact environnemental des feux (OEIL, communication écrite du 5 février 2014), celui-ci sera donc traité dans cette étude.

Les indicateurs retenus sont ceux dont les utilisateurs ont exprimé un besoin fort lors du lot 1, 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.

Chapitre IV - Indicateurs du suivi

Les évaluations concernant les données sources (qualité, homogénéité, fiabilité, pérennité et abondance) des indicateurs sont effectuées en se basant sur les données disponibles actuellement.

Les indicateurs sont proposés sur la base des discussions et échanges de la réunion de travail du 09 Août 2013 avec les différents acteurs de la gestion des feux. Ces échanges entre les acteurs ont permis de faire émerger trois groupes d'indicateurs :

- les indicateurs opérationnels et consensuels, base structurante d'un suivi de l'impact des feux.
- Les indicateurs opérationnel à court terme, techniquement réalisables mais demandant un travail supplémentaire de définition avec les acteurs.
- Les indicateurs opérationnels à moyen terme : indicateurs nécessitant d'attendre des éléments supplémentaires issus des projets de recherche (en cours de publication ou de réalisation) ou dont les données sources ne sont pas directement disponibles, dont la spécificité vis-à-vis de la problématique est insuffisante ou encore dont la priorité n'est pas immédiate. Ces indicateurs constituent les pistes de prospections pour de futurs développements.

IV.1. Indicateurs opérationnels.

IV.1.1. Indicateurs de caractérisation des feux

IV.1.1.a. Recensement annuel des feux

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Recensement annuel des feux</i>
Version	<i>1</i>
Définition	<i>L'indicateur de recensement des feux a pour objectif de localiser de manière précise et représentative les feux annuels sur le territoire d'intérêt.</i>
Type de variable	<i>Qualitative</i>
Intervalle de variation de la variable	<i>Attributs comprenant la localisation géographique (Lat/Long), le numéro de carroyage DFCI, la date de début du feu, la date de fin du feu</i>
Unité de mesure	<i>sans unité</i>
Type d'indicateur	<i>Thématique et spatial</i>
Modalité d'interprétation	<i>Indique le point de départ de feux ou la localisation du centre du feu avec une précision de +/- 1000 m, donne une indication de la durée du feu.</i>
Valeur cible	<i>Non</i>
Sous-indicateurs	<i>-</i>

Périodicité de la mesure	<i>Journalière à pluri journalière</i>	
« Pas de temps » de restitution	<i>Annuelle (année calée sur le régime des feux)</i>	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	<i>La série doit être continue</i>	
Possibilité de rétro-calcul	<i>Oui mais avec incertitude</i>	
Niveau d'appropriation	<i>Grand public et Expert</i>	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire</i>	
Gain(s) de précision d'échelle	<i>Nul</i>	
Echelle de restitution	<i>1/2 000 000</i>	
Précision spatiale	<i>+/- 1000 m</i>	
Précision thématique	<i>Doit être représentatif du régime des feux.</i>	
Coût	<i>Faible</i>	

Généalogie de l'indicateur

Nature précise des données de base	<i>Levés de terrain (CFF988, pompiers, agents provinciaux) Images satellitaires MODIS</i>
Généalogie des données de base	<i>La traçabilité des levés de terrain doit être assurée</i>
Mode de calcul	<i>Combiner relevés des points chaud MODIS et levés de terrain.</i>
Producteur(s)	<i>A définir</i>
Modalité d'acquisition des données	<i>Levés de terrain par la méthodologie de la CFF988. Données des feux MODIS. nous privilégierons ici la base de données brutes</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<p><i>Limitation liée à l'acquisition des levés de terrain.</i></p> <p><i>Limitation de la détection des points chauds par satellites liée à la taille des feux et aux perturbations atmosphériques. Ces limitations seront atténuées par un processus de suivi amélioré par imagerie satellitaire.</i></p>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Données de base du suivi de l'impact des feux, celles-ci peuvent être exploitées dans le cadre d'autres projets de suivi.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Point</i>
Sémiologie graphique	<i>Point rouge</i>
Exemple	

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	<p><i>Actuellement, les données issues de la CFF988 et de la base de données MODIS points chauds souffrent d'un manque de fiabilité liée à la constitution même de ces deux jeux de données. Plusieurs pistes méthodologiques seront proposées dans le cadre du lot 3 afin d'améliorer la fiabilité des relevés de la localisation des feux :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Méthodologie de levés de terrain</i> • <i>Croisement levés terrain et base de données MODIS</i> • <i>Exploitation de données satellitaires haute résolution pour l'inventaire des feux</i>
Références bibliographiques	<p>Giglio, L. (2013). MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.5.</p> <p>Smith R. et al. Estimating the area of stubble burning from the number of active fires detected by satellite, 2007. <i>Remote Sens. of Env.</i> 109 95 - 106.</p> <p>Bucini G. & Lambin F. Fire impacts on vegetation in Central Africa : a remote-sensing based statistical analysis, 2002. <i>Applied Geography</i> 22 27 - 48.</p> <p>Boyeau, Y.-E. (2005). Analyse spatiale de l'impact des feux par type de milieux naturels en Province Sud (Province Sud - Service de l'Environnement).</p>

L'indicateur de recensement des feux est un indicateur essentiel de suivi de l'impact des feux et de manière global de suivi des feux à l'échelle du territoire.

Actuellement, les données sources existantes souffrent de limitations liées aux méthodologies de levés des localisations des feux (levés terrain et points chauds MODIS). Une méthodologie couplant ces procédures de levés actuellement utilisés avec l'exploitation de données satellitaires haute résolution sera proposée dans le lot 3.

Cette méthodologie se voudra simple et intéressante à mettre en œuvre au vu de la pertinence de cet indicateur pour la caractérisation du régime des feux sur le territoire. D'autre part, cette méthode devra permettre de caractériser la représentativité des données terrain de la CFF988 et des points chauds MODIS afin de pouvoir accéder au rétro-calcul de cet indicateur tout en maîtrisant les biais et la représentativité de celui-ci pour les périodes historiques.

Enfin, cet indicateur permettra d'élaborer au besoin des indicateurs indirects caractérisant le régime des feux :

- Cycle des feux,
- Durée des feux.

Cet indicateur pourra évidemment être représenté et intégré à différents pas de temps et échelles spatiales selon les besoins des utilisateurs.

IV.1.1.b. Fréquence des feux

Définition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	Fréquence des feux	
Version	1	
Définition	Nombre de feux par unité de surface par an (partitionnement de l'espace)	
Type de variable	Quantitative	
Intervalle de variation de la variable	Continue [0 ; +∞]	
Unité de mesure	Nombre de Feux / an	
Type d'indicateur	Spatial	
Modalité d'interprétation	Caractérise le régime des feux. Plus la valeur de l'indicateur est forte, plus le régime des feux exerce une pression sur le milieu.	
Valeur cible	Non	
Sous-indicateurs	Localisation des feux	
Périodicité de la mesure	Journalière ou pluri-journalière	
Pas de temps de restitution	Annuelle (année calée sur le régime des feux)	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	Doit être continue	
Possibilité de rétro-calcul	Possible avec des biais	
Niveau d'appropriation	Grand public	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	Territoire	
Gain(s) de précision d'échelle	Fort	
Echelle de restitution	1/2 000 000	
Précision spatiale	+/- 1000 m	
Précision thématique	Doit être représentatif du régime des feux	
Coût	Faible	

Généalogie de l'indicateur

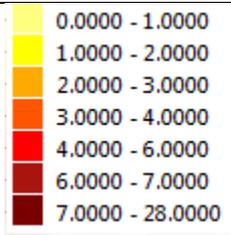
Nature précise des données de base	<i>Cet indicateur repose sur la localisation des feux (IV.1.1) Données de discrétisation de l'espace (communes, carroyage DFCI)</i>
Généalogie des données de base	<i>Les données de discrétisation de l'espace seront des données administratives Localisation des feux : cf fiche indicateur recensement annuel des feux (IV.1.1)</i>
Mode de calcul	<i>Pour chaque entité du paysage, l'indicateur correspond à la somme $\sum_{i=1}^n F_i$ avec F_i un point correspondant à 1 feu au temps i. i doit être compris entre 0 et 365 (une année) dont le zéro est positionné sur le début de la saison des feux afin d'avoir une année représentative du régime des feux.</i>
Producteur(s)	<i>A définir</i>
Modalité d'acquisition des données	<i>La donnée source est l'indicateur de localisation géographique des feux - Cf fiche indicateur recensement annuel des feux.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<i>Limites liées à l'acquisition des données sources de localisation des feux</i>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Données de base du suivi de l'impact des feux, celles-ci peuvent être exploitées dans le cadre d'autres projets de suivi. Cet indicateur permet de connaître les zones où les incendies se sont fréquemment renouvelés et donc potentiellement les plus à risques pour les départs de feux. Il peut donc focaliser sur une zone d'intérêt patrimonial potentiellement vulnérable aux feux (possibilité d'une perte de résilience du milieu) et guider pour la mise en place de politiques publiques (aménagement en prévention des feux) ou de sensibilisation des populations.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	

Abondance des données	
------------------------------	---

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Polygone ou aplat continu</i>
Sémiologie graphique	
Exemple	

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	<i>Les méthodes de calcul de la fréquence des feux sont robustes et maîtrisées, l'amélioration de l'indicateur passera par l'amélioration de l'information source de localisation géographique des feux</i>
Références bibliographiques	<p>DDTM Des Landes (2010). Rapport de présentation de l'atlas relatif au risque incendie de forêt dans les Landes.</p> <p>Boyeau, Y.-E. (2005). Analyse spatiale de l'impact des feux par type de milieux naturels en Province Sud (Province Sud - Service de l'Environnement).</p>

Plusieurs niveaux de **l'indicateur de fréquence des feux** peuvent être proposés. Ceux-ci dépendent du niveau d'agrégation spatiale de l'information et le gain d'échelle introduit ainsi que la représentation de l'indicateur seront autant de déclinaisons exploitables à différentes échelles du suivi de l'impact environnemental des feux :

- **Fréquence des feux par sommation spatiale par fenêtre Kernel** : représentation plus robuste d'un point de vue environnemental et systémique, cette déclinaison de l'indicateur sera préconisé pour les études scientifiques et les analyses expertes de l'impact environnemental;
- **Fréquence des feux par sommation spatiale au sein du carroyage DFCI** : représentation la plus adaptée en terme d'adéquation entre données sources de localisation des feux et données de discrétisation, cette déclinaison de l'indicateur permettra de disposer d'une base de connaissances commune du régime des feux entre le suivi de l'impact environnemental et les autres suivis concernant les feux (suivi par les opérationnels, suivi financier, etc.) ;
- **Fréquence des feux par sommation au sein des communes** : la représentativité du régime des feux est moindre mais le gain d'échelle se situe sur la production d'un indicateur pouvant être exploité à des fins de communication et de gestion (décideurs, pompiers, Sécurité Civile).

IV.1.1.c. Temps de retour ou périodicité des feux

Définition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	Temps de retour ou périodicité des feux	
Version	1	
Définition	Intervalle de temps médian par unité de surface entre deux feux successifs. La période de retour caractérise le temps entre deux occurrences d'un feu.	
Type de variable	Quantitative	
Intervalle de variation de la variable	Continue $[0 ; +\infty]$	
Unité de mesure	Année	
Type d'indicateur	Spatial	
Modalité d'interprétation	Caractérise le régime des feux. Plus la valeur de l'indicateur est faible, plus le régime des feux exerce une pression sur le milieu.	
Valeur cible	Non	
Sous-indicateurs	Recensement annuel des feux	
Périodicité de la mesure	Journalière ou pluri-journalière	
Pas de temps de restitution	Annuelle (année calée sur le régime des feux)	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	Doit être continue	
Possibilité de rétro-calcul	Possible avec des biais	
Niveau d'appropriation	Expert	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	Territoire	
Gain(s) de précision d'échelle	Fort	
Echelle de restitution	1/2 000 000	
Précision spatiale	+/- 1000 m	
Précision thématique	Doit être représentatif du régime des feux	

Coût	Faible
------	---------------

Généalogie de l'indicateur

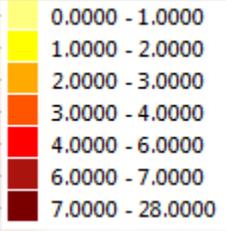
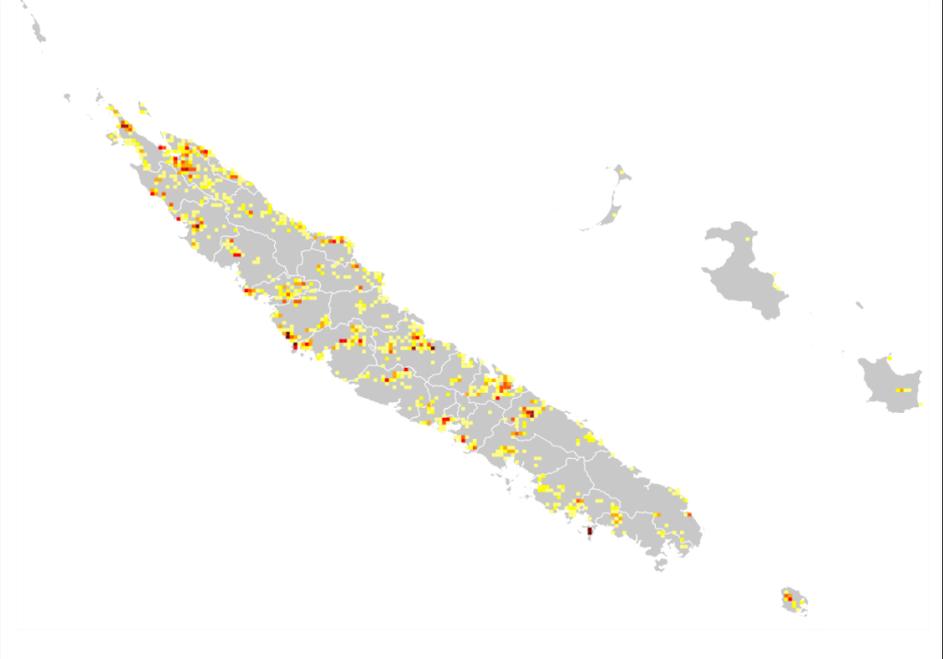
Nature précise des données de base	<i>Cet indicateur repose sur le recensement annuel des feux Données de discrétisation de l'espace (communes, carroyage DFCI)</i>
Généalogie des données de base	<i>Les données de discrétisation de l'espace seront des données administratives Recensement annuel des feux : cf fiche recensement annuel des feux</i>
Mode de calcul	<i>Médiane par unité de surface (continue ou discrète) des temps séparant l'occurrence de feux successifs.</i>
Producteur(s)	<i>A définir</i>
Modalité d'acquisition des données	<i>La donnée source est l'indicateur de localisation géographique des feux - Cf fiche indicateur recensement annuel des feux.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<i>Limites liées à l'acquisition des données sources de localisation des feux</i>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Cet indicateur permet une connaissance détaillée de la pression du régime des feux exercée sur le milieu. Les régimes de feux à cycle court correspondent à des zones les plus à risques en termes d'impact environnemental. Cet indicateur peut également être croisé avec les typologie de la végétation et des indicateurs d'évolution de la typologie de la végétation afin de caractériser le comportement des différents types de végétation face aux feux répétés et de dégager les zones d'impact environnementaux (notamment d'atteintes à la résilience) sur le moyen et long terme.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	

Abondance des données	
------------------------------	---

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Polygone ou aplat continu</i>
Sémiologie graphique	
Exemple	

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	
Références bibliographiques	<p>Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques d'incendies de forêt. Guide méthodologique. Ministère de l'Intérieur, de la sécurité intérieure des Libertés locales, Ministère de l'Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales , Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2002. 88 p. ISBN : 2-11-005035-7</p> <p>Ed. La Documentation française</p>

IV.1.2. Impacts des feux

IV.1.2.a. Surfaces brûlées

L'indicateur proposé ici repose sur l'exploitation de données satellitaires.

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	Surfaces brûlées	
Version	1	
Définition	Surfaces brûlées par unité de territoire	
Type de variable	Quantitative	
Intervalle de variation de la variable	Continue	
Unité de mesure	Ha	
Type d'indicateur	Thématique	
Modalité d'interprétation	Surfaces ayant connu un incendie dans l'année, possibilité de l'intégrer par unité de suivi (commune / carroyage DFCL / autre) selon les objectifs de gestion l'utilisateur.	
Valeur cible	Non	
Sous-indicateurs	-	
Périodicité de la mesure	Annuelle (pluri-annuelle de préférence)	
Pas de temps de restitution	Annuelle (année calée sur le régime des feux)	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	Oui / Non (si non indiquer les lacunes)	
Possibilité de rétro-calcul	Partiellement	
Niveau d'appropriation	Grand public	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	Territoire	
Gain(s) de précision d'échelle	Fort	
Echelle de restitution	Du 1/5000 au 1/20 000	
Précision spatiale	De 2.5 m à 10 m	

Précision thématique	85 % (Fontanaz&Allenbach)
Coût	Faible

Généalogie de l'indicateur

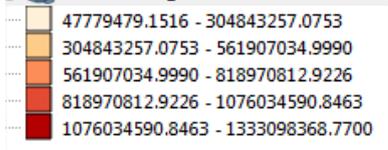
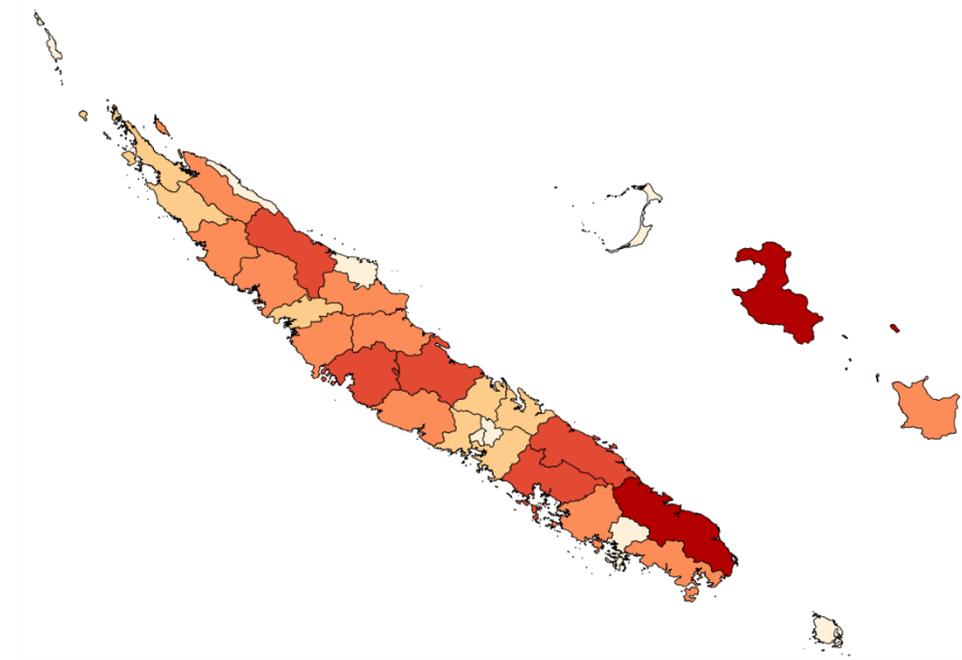
Nature précise des données de base	Données satellitaires optiques comprenant à minima le proche infrarouge.
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	Détection des surfaces brûlées par traitement du signal satellitaire. Intégrale des surfaces détectées brûlées par unité de suivi
Producteur(s)	-
Modalité d'acquisition des données	Traitement des données satellitaires Analyse spatiale
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<p>Les surfaces brûlées ne correspondent pas forcément à des zones d'impact environnemental à forte sévérité.</p> <p>Des surfaces brûlées peuvent être omises en fonction du calendrier d'acquisition des données et des conditions atmosphériques.</p> <p>Les feux couvant au sol seront difficilement détectés.</p>
Qualité des données sources	
Avantages	Permet d'accéder à une estimation des surfaces brûlées sur le territoire. Cette information est un élément important afin d'évaluer annuellement les zones impactées par les incendies. De plus, l'acquisition d'information de surface va permettre la création d'indicateurs par croisement avec d'autres informations environnementales.
Homogénéité des données	

Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>polygone</i>
Sémiologie graphique	 <p>47779479.1516 - 304843257.0753 304843257.0753 - 561907034.9990 561907034.9990 - 818970812.9226 818970812.9226 - 1076034590.8463 1076034590.8463 - 1333098368.7700</p>
Exemple	

Perspectives

Proposition d'amélioration / Optimisation	-
Références bibliographiques	<p><i>Benefiting from International Charter experience for setting up the SAFER service quality system</i> Delphine Fontannaz-CNES & Bernard Allenbach-SERTIT</p> <p><i>VALgEO2009 – International workshop on validation of geo-information products for crisis management</i> 23-25 November 2009, ISPRA – Italy</p>

IV.1.2.b. Impacts environnementaux des feux sur la flore

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	Impacts environnementaux des feux sur la flore	
Version	1	
Définition	Surfaces impactées par type de végétation et d'occupation des sols par unité de territoire par an.	
Type de variable	Quantitative	
Intervalle de variation de la variable	Continue	
Unité de mesure	Ha	
Type d'indicateur	Thématique	
Modalité d'interprétation	Superficie de chaque type de végétation ou d'occupation des sols ayant connu un incendie dans l'année par unité de suivi (commune / carroyage DFCI / l'emprise du feu/ autre). Il ne s'agit pas d'un indicateur des milieux perdus mais bien des milieux atteints par les feux.	
Valeur cible	Non	
Sous-indicateurs	-	
Périodicité de la mesure	Plusieurs fois par an	
Pas de temps de restitution	Annuelle (année calée sur le régime des feux)	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	Oui / Non (si non indiquer les lacunes)	
Possibilité de rétro-calcul	Partiellement	
Niveau d'appropriation	Grand public voire expert selon le rendu.	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	Territoire	
Gain(s) de précision d'échelle	Moyen	
Echelle de restitution	1/25 000	
Précision spatiale	+/- 5 m	
Précision thématique	85 % pour les surfaces brûlées. La précision thématique dépendra de la précision des typologies de la végétation	

Coût	Modéré
-------------	---------------

Généalogie de l'indicateur

Nature précise des données de base	<i>Surfaces brûlées et successions végétales orientée suivi des impacts des feux</i>
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	<i>Intersection spatiale des surfaces brûlées et de la typologie de la végétation. Intégrale des surfaces de chaque type de végétation au sein des unités de suivi (carroyage DFCI, communes, etc...)</i>
Producteur(s)	-
Modalité d'acquisition des données	<i>Traitement des données satellitaires Analyse spatiale par croisement surface brûlée et de la typologie de la végétation.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<i>Les surfaces brûlées ne correspondent pas forcément à des milieux perdus. Des surfaces brûlées peuvent être omises en fonction du calendrier d'acquisition des données et des conditions atmosphériques. Données en entrée sur les formations végétales hétérogènes et non spécifiques à la problématique du feu.</i>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Permet une connaissance basique sur les surfaces impactées par le feu. Il permet de manière annuelle de faire un bilan sur les types d'écosystèmes les plus touchés sur le territoire.</i>

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	<i>Le pourcentage de la formation atteinte par rapport au pourcentage global de l'écosystème pourrait être intégré. Il permettrait de pointer le pourcentage de l'écosystème atteint par rapport au pourcentage global de cet écosystème en Nouvelle-Calédonie.</i>
Références bibliographiques	<i>Benefiting from International Charter experience for setting up the SAFER service quality system</i> Delphine Fontannaz-CNES & Bernard Allenbach-SERTIT <i>VALgEO2009 – International workshop on validation of geo-information products for crisis management</i> 23-25 November 2009, ISPRA – Italy

L'indicateur peut être propose :

- **par feux** : l'indicateur pourra être exploité en retour d'expérience par les opérationnels (Sécurité Civile, Pompiers, Ecole des Pompiers)
- **par unité du paysage** (bassins versants) ou par unité administrative : l'indicateur permettra de faciliter la communication des résultats du suivi au grand public et décideurs. Cette manière d'agréger l'information permettra en outre des corrélations avec des indicateurs indirects comme par exemple l'érodibilité des sols.

IV.1.2.c. Impacts environnementaux des feux sur le micro-endémisme végétal

Définition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Impacts environnementaux des feux sur le micro-endémisme végétal</i>	
Version	1	
Définition	<i>Surfaces impactées par type de végétation et d'occupation des sols par unité de territoire.</i>	
Type de variable	<i>Quantitative</i>	
Intervalle de variation de la variable	<i>Continue</i>	
Unité de mesure	<i>Ha</i>	
Type d'indicateur	<i>Thématique</i>	
Modalité d'interprétation	<i>Quantité de surfaces des secteurs de micro-endémisme ayant connu un incendie dans l'année par unité de suivi (commune / carroyage DFCI / l'emprise du feu/ autre)</i>	
Valeur cible	<i>Non</i>	
Sous-indicateurs	-	
Périodicité de la mesure	<i>Plusieurs fois par an</i>	
Pas de temps de restitution	<i>Annuelle (année calée sur le régime des feux)</i>	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	<i>Oui / Non (si non indiquer les lacunes)</i>	
Possibilité de rétro-calcul	<i>Partiellement</i>	
Niveau d'appropriation	<i>Expert</i>	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire</i>	
Gain(s) de précision d'échelle	<i>Moyen</i>	
Echelle de restitution	<i>1/4 000 000</i>	
Précision spatiale	<i>+/- 2 km</i>	
Précision thématique	<i>Moyenne (échelle des données actuelles sur le micro-endémisme)</i>	

Coût	<i>Faible</i>
------	---------------

Généalogie de l'indicateur

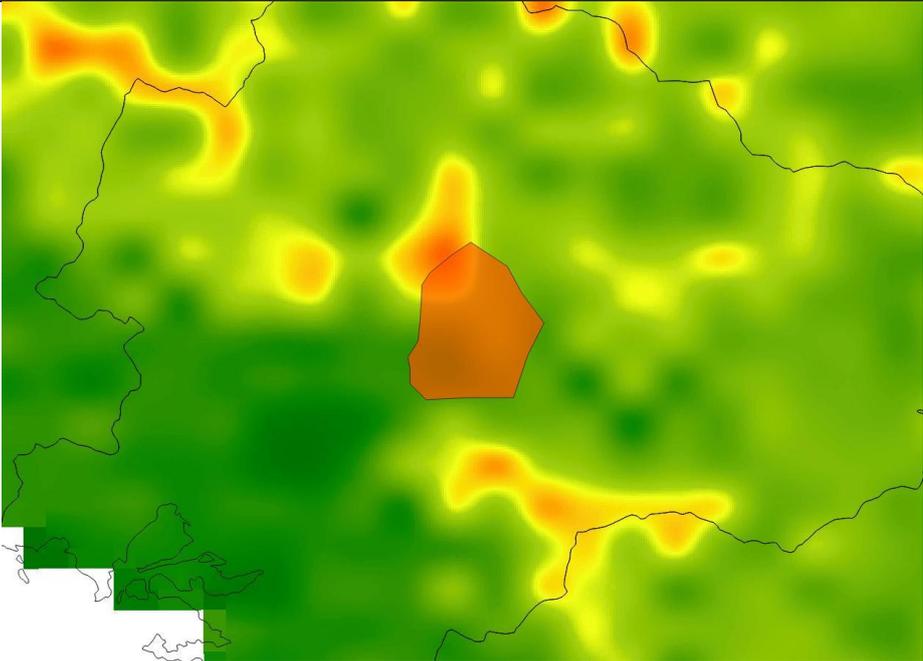
Nature précise des données de base	<i>Surfaces brûlées et données de répartition du micro-endémisme</i>
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	<i>Intersection spatiale des surfaces brûlées et des données de répartition du micro-endémisme. Intégrale des surfaces de chaque type de végétation au sein des unités de suivi (carroyage DFCI, communes, etc...)</i>
Producteur(s)	-
Modalité d'acquisition des données	<i>Traitement des données satellitaires Analyse spatiale par croisement surface brûlée et des données de répartition du micro-endémisme.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<i>Les surfaces brûlées ne correspondent pas forcément à des zones d'impact environnemental car l'atteinte à la résilience des milieux n'est pas connue Des surfaces brûlées peuvent être omises en fonction du calendrier d'acquisition des données et des conditions atmosphériques. Manque actuel de précision sur la donnée relative au micro-endémisme végétal.</i>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Permet de croiser la localisation des feux avec des zones à enjeux. Il permet de manière annuelle de faire un bilan sur les types d'écosystèmes les plus touchés</i>

	<i>sur le territoire.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	 
Pérennité des données	 
Abondance des données	 

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>polygone</i>																	
Sémiologie graphique	<p>Micro endémisme végétal</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">  High : 0.988561   Low : 0.0033752 </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; font-size: small;"> dans les secteurs affectés par les incendies </div> </div>																	
Exemple	 <table border="1" style="margin-top: 10px; width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Classe de micro endémisme potentielle</th> <th colspan="2">Surface affectée par l'incendie</th> </tr> <tr> <th>en ha</th> <th>en %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elevé</td> <td>20</td> <td>13,79</td> </tr> <tr> <td>Moyen</td> <td>45</td> <td>31,03</td> </tr> <tr> <td>Faible</td> <td>80</td> <td>55,17</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>145</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>	Classe de micro endémisme potentielle	Surface affectée par l'incendie		en ha	en %	Elevé	20	13,79	Moyen	45	31,03	Faible	80	55,17	Total	145	100,00
Classe de micro endémisme potentielle	Surface affectée par l'incendie																	
	en ha	en %																
Elevé	20	13,79																
Moyen	45	31,03																
Faible	80	55,17																
Total	145	100,00																

Observations issus de la réunion de restitution du 09/08/2013 :

Les « hotspots » de micro-endémisme devraient être réévalué [...] car il s'agit d'un outil pertinent pour la gestion des feux. Il est vrai qu'il faudrait par contre en améliorer la connaissance, afin de descendre en échelle.

La mauvaise note relative [Cf Lot1 : Evaluation des données] est liée à cette échelle d'utilisation du 1/4 000000 jugée insuffisante pour une utilisation dans le contexte d'un suivi de l'impact environnemental des feux.

IV.2. Indicateurs opérationnels à court terme

Ces indicateurs sont essentiellement des indicateurs techniquement réalisables mais nécessitant la mise en place de groupes de travail par l'OEIL afin de converger vers une définition consensuelle de leur contenu avec les acteurs de gestion du feu et de l'environnement.

Sont donc rassemblés dans cette partie, les indicateurs n'ayant pas donné lieu à un consensus immédiat lors de la réunion de restitution du 09/08/2013, soit :

- l'indicateur concernant les successions végétales dont la typologie exacte fait débat:
 - les successions végétales peuvent être considérées comme un indicateur (Réunion du 09/08/2013);
 - Existent-ils des successions liées uniquement à l'action des feux ? Dans ce cas, l'indicateur pourra se focaliser sur ces successions spécifiques (Réunion du 09/08/2013);
 - Quels niveaux de segmentation des successions végétales seront les plus pertinents de suivre (savanes globalement ou savanes à niaoulis plus spécifiquement par exemple) ? (Réunion du 09/08/2013).
- ainsi que l'indicateur d'impact environnemental des feux sur la flore qui s'appuie sur le premier.

Lors de la réunion du 09/08/2013, un certain nombre d'acteurs (WWF, IRD, DTSI) ont rappelé la pertinence de 2 sources d'information pour le suivi de l'impact des feux : les données sur les feux et les données sur les écosystèmes. La partie écosystèmes constitue un axe de travail à part entière à développer (DTSI, IRD).

IV.2.1. Données de caractérisation environnementale

IV.2.1.a. Successions végétales

Cette fiche d'indicateur se base sur les données existantes de caractérisation des paysages listées dans le lot 1 de cette étude. Lors de l'analyse de ces données, celles-ci sont apparues insuffisantes pour une exploitation robuste au sein du suivi de l'impact environnemental des feux. Des pistes d'amélioration des données typologiques de la végétation sont introduites dans cette fiche et seront développées dans le cadre du lot 3.

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Successions végétales</i>
Version	1
Définition	<i>L'indicateur a pour objectif de localiser (position et étendue) les végétations d'intérêt particulier concernant la thématique des feux de forêt en termes d'écosystèmes vulnérables ou traduisant une dynamique des feux particulière (stade de succession végétale).</i>
Type de variable	<i>Qualitative</i>
Intervalle de variation de la variable	<i>Discrète (code)</i>

Unité de mesure	<i>Ha et attributs</i>	
Type d'indicateur	<i>Thématique et spatial</i>	
Modalité d'interprétation	<p><i>La prédominance de certains types de végétation est un indicateur de l'impact environnemental des feux. La typologie doit être explicitée et validée par consensus lors de groupes de travail avec les utilisateurs et partenaires du suivi. Afin, d'être exploitable dans le cadre du suivi de l'impact environnemental des feux, certains types de végétation nécessitent une attention particulière et une déclinaison précise : Forêt (humides, sèches), Savanes (ouvertes, arborée), Maquis ligno-herbacé (à fougère, de pentes, de piémont).</i></p>	
Valeur cible	<i>Non</i>	
Sous-indicateurs	-	
Périodicité de la mesure	<i>Annuelle (année calée sur le régime des feux)</i>	
Pas de temps de restitution	<i>Annuelle (année calée sur le régime des feux)</i>	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	<i>Non (les données sont actuellement trop hétérogènes)</i>	
Possibilité de rétro-calcul	<i>Oui</i>	
Niveau d'appropriation	<i>Expert</i>	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire</i>	
Gain(s) de précision d'échelle	<i>Fort</i>	
Echelle de restitution	<i>Du 1/1000 au 1/20 000 maximum</i>	
Précision spatiale	<i>50 cm à 10 m</i>	
Précision thématique	<i>La précision thématique des thèmes savanes, maquis et forêt doit être assurée et quantifiée</i>	
Coût	<i>Fort</i>	

Généalogie de l'indicateur

Nature précise des données de base	<i>Données satellitaires haute à très haute résolution</i>
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	<i>Traitement du signal d'images satellites</i>
Producteur(s)	-
Modalité d'acquisition des données	<i>A définir</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	<i>Limitations liées à l'interprétation thématique de l'information. L'ajout de l'indicateur d'occurrence des feux permettra une meilleure robustesse et fiabilité de l'indicateur.</i>
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Permet la création d'une base solide de caractérisation des écosystèmes pour la thématique du feu</i> <i>Possibilité de réaliser l'indicateur de manière continue dans le temps et l'espace de manière homogène, calibrée et maîtrisée. Possibilité de rétro-calcul jusqu'en 2000 à de grandes échelles et jusqu'en 1974 à petite échelle.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	polygone
Sémiologie graphique	<ul style="list-style-type: none"> Foêt sur substrat ultramafique Forêt sur substrat volcano-sédimentaire Maquis dense paraforestier Maquis ligno-herbacé Savane Zones d'habitation
Exemple	

Perspectives

Propositions d'amélioration/ Optimisation	<p><i>La typologie de la végétation, pour être pertinente dans le cadre du suivi de l'impact environnemental des feux, doit nécessairement comprendre d'après les travaux de Jaffré et les comptes-rendus d'entretiens :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - les forêts - maquis paraforestier - le maquis minier (sans distinction de densité) - les savanes ouvertes - la strate arborescente de la savane de manière individualisée - les maquis ligno-herbacés avec une distinction particulière pour les maquis ligno-herbacés à fougère, les maquis ligno-herbacé de pentes, les maquis ligno-herbacé de piémont <p><i>La précision spatiale doit être la meilleure possible au regard du coût / étendue de la zone de suivi, notamment pour caractériser les effets de lisière (forêt).</i></p> <p><i>La précision spatiale de l'indicateur pourra être améliorée dans les secteurs à forte occurrence des feux et dans les secteurs d'intérêt environnemental particulier (zones de micro-endémisme, parcs et réserves).</i></p>
--	---

Références bibliographiques	<p>McCoy, S., Jaffré, T., Rigault, F., and Ash, J.E. (1999). Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia. <i>J. Biogeogr.</i> 26, 579–594.</p> <p>Ibanez, T. (2012). Dynamiques des forêts denses humides et des savanes en réponse aux incendies en Nouvelle-Calédonie. Université Aix-Marseille.</p> <p>Jaffré, T., Veillon, J.-M., Rigault, F., Dagostini, G., Chazeau, J., Bonnet de Larbogne, L., Potiaroa, T., and Jourdan, H. (1997). Impact des feux de brousse sur le milieu naturel en Nouvelle-Calédonie : 1. Impact des feux de brousse sur la flore et les groupements végétaux. 2. Altération de la diversité faunistique dans un milieu dégradé par le feu: le cas de la forêt sclérophylle: diversité faunistique et structure des peuplements d'une forêt sclérophylle et d'une formation dérivée, le fourré à <i>Acacia spirorbis</i>; feux de brousse et invasion des milieux du domaine sclérophylle par la fourmi pionnière <i>Wasmanniaauropunctata</i> (Nouméa: ORSTOM).</p> <p>Jaffré, T., Rigault, F., and Dagostini, G. (1998). Impact des feux de brousse sur les maquis ligno-herbacés des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. <i>Adansonia</i>20, 173–189.</p>
------------------------------------	---

La caractérisation typologique de la végétation est un indicateur transversal à d'autres thématiques environnementales et d'aménagement du territoire.

Afin de garantir une efficacité optimale et un coût raisonnable de constitution de la base de données, une méthodologie multi-échelle sera proposée afin de caractériser de manière la plus précise possible la typologie de la végétation dans les secteurs à forte pression concernant la thématique des feux.

Observations issues de la réunion de restitution du 09/08/2013 :

Dans les successions végétales, il serait pertinent de regarder uniquement celles qui ne sont pas multifactorielles, mais bien spécifiques à l'action du feu.

La typologie en elle-même fait débat entre les différentes personnes de sensibilité différentes. Certains préconisent de revenir à des définitions d'objets plus simples (forêt, maquis, savanes) alors que d'autre jugent que l'on perdrait des milieux pertinents à suivre pour les feux (savanes à niaoulis).

IV.3. Prospective : Indicateurs opérationnels à moyen terme

Sont rassemblés dans cette partie les indicateurs nécessitant d'attendre des éléments supplémentaires issus des projets de recherche (en cours de publication – projet ANR INC ou de réalisation - projet CNRT Corifor) ou dont les données sources ne sont pas directement disponibles, dont la spécificité vis-à-vis de la problématique est insuffisante ou encore dont la priorité n'est pas immédiate. Ces indicateurs constituent les pistes de prospectives pour de futurs développements.

IV.3.1. Fragmentation des forêts

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Fragmentation des forêts</i>	
Version	1	
Définition	<i>L'indicateur a pour objectif l'évaluation « spatiale » de la fragmentation physique des forêts. Il se base sur une découpe de la zone d'intérêt en unité de suivi : quadrillage régulier type carroyage DFCI, commune, bassin versant...</i>	
Type de variable	<i>Quantitative</i>	
Intervalle de variation de la variable	<i>Continue</i>	
Unité de mesure	<i>sans unité ou ha</i>	
Type d'indicateur	<i>Thématique et spatial</i>	
Modalité d'interprétation	<p><i>Cet indicateur est constitué d'indices de paysage permettent de révéler trois états :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>augmentation du nombre des taches de forêt dense = fragmentation de la classe,</i> • <i>régression de la superficie de la classe = processus de dégradation,</i> • <i>accroissement de la valeur de l'indice de Shannon = dislocation de l'unité.</i> 	
Valeur cible	<i>Non</i>	
Sous-indicateurs	-	
Périodicité de la mesure	<i>Annuelle</i>	
Pas de temps de restitution	<i>Annuelle</i>	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	<i>La série doit être continue</i>	

Possibilité de rétro-calcul	<i>Partiellement</i>
Niveau d'appropriation	<i>Expert</i>
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire</i>
Gain(s) de précision d'échelle	<i>Fort</i>
Echelle de restitution	<i>Du 1/5000 au 1/20000</i>
Précision spatiale	<i>De 2.5 m à 10 m</i>
Précision thématique	-
Coût	Faible

Généalogie de l'indicateur

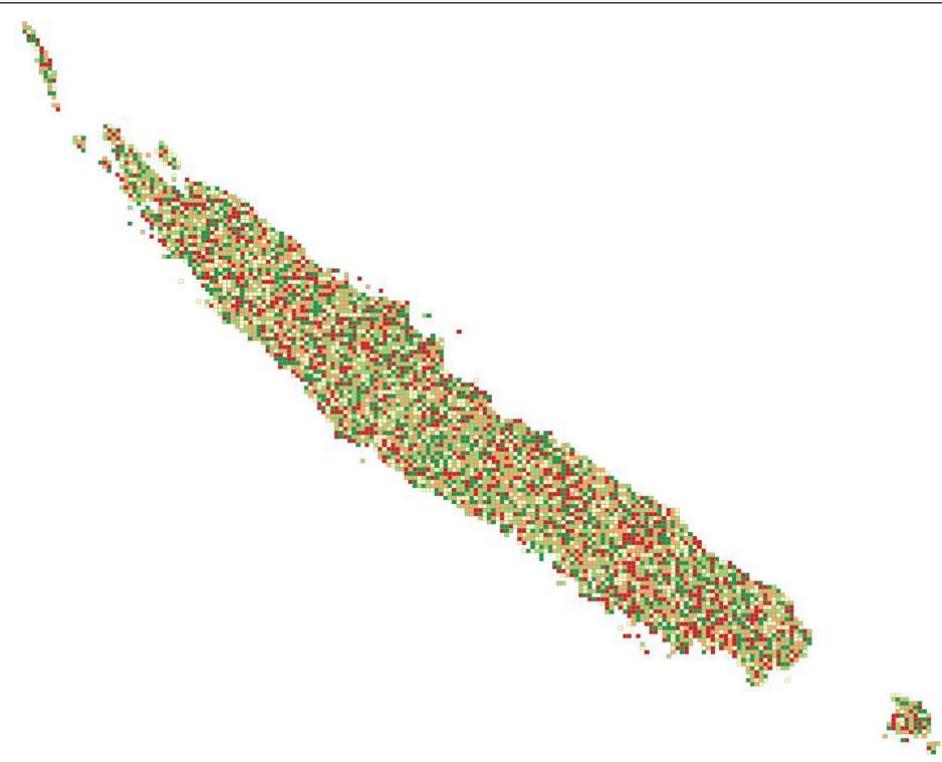
Nature précise des données de base	<i>Occupation du sol (DTSI, OEIL ou Province Sud)</i>
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	<p><i>Extraction de la classe de forêt dense</i></p> <p><i>Calcul des indices par unité spatiale :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>L'aire totale (atj) occupée par la classe j (ha) est calculée suivant l'équation ci-dessous où aij est l'aire de la i-ème tache de la classe j :</i> $a_{tj} = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ij}$ - <i>La dominance Dj(a) indiquant la proportion d'aires occupées par la tache dominante dans la classe j est calculée suivant la formule ci-dessous : Dj (a) = amaxj / atj x 100.</i> <i>Ou amaxj = aire totale (atj) occupée par la plus grande tache de la classe j</i> <i>0 < Dj(a) ≤ 100. Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée.</i> - <i>L'aire moyenne aj (la valeur moyenne de l'aire des taches de la classe j) est calculée selon la formule suivante : aj = atj / nj</i> - <i>La diversité des aires des taches de la classe j, notée Hj(a), est calculée suivant la formule de l'indice de Shannon ci-dessous où ln représente le logarithme népérien.</i> $H_j(a) = \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{a_{ij}}{a_{tj}} \ln \frac{a_{tj}}{a_{ij}} \right)$ <p><i>Cet indice mesure la diversité relative des taches au niveau de la classe. La valeur de Hj(a) va dépendre du nombre de taches présentes</i></p>

	<i>(nj), de leurs proportions relatives et de la base du logarithme. Il est égal à 0 lorsque la classe n'est constituée que d'une seule tache et sa valeur va croître avec le nombre de taches et avec l'équitabilité entre les aires des taches de la classe.</i>
Producteur(s)	<i>A définir</i>
Modalité d'acquisition des données	<i>Demande et réception des données d'occupation du sol de l'OEIL, de la province sud, de la DTSI. Pour l'occupation du sol orienté feu, cf indicateur Typologie de la végétation.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	-
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Cet indicateur est à la fois un indicateur concernant la thématique du feu mais aussi de manière plus globale un indicateur de structure du paysage et donc de la thématique des corridors écologiques. Il peut permettre d'orienter certaines actions de conservation/restauration des milieux.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Polygone</i>																																	
Sémiologie graphique	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></td> <td>0.0000 - 20.0000</td> </tr> <tr> <td style="width: 15px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></td> <td>20.0000 - 40.0000</td> </tr> <tr> <td style="width: 15px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black;"></td> <td>40.0000 - 60.0000</td> </tr> <tr> <td style="width: 15px; background-color: #FFA500; border: 1px solid black;"></td> <td>60.0000 - 80.0000</td> </tr> <tr> <td style="width: 15px; background-color: #FF0000; border: 1px solid black;"></td> <td>80.0000 - 100.0000</td> </tr> </table>		0.0000 - 20.0000		20.0000 - 40.0000		40.0000 - 60.0000		60.0000 - 80.0000		80.0000 - 100.0000																							
	0.0000 - 20.0000																																	
	20.0000 - 40.0000																																	
	40.0000 - 60.0000																																	
	60.0000 - 80.0000																																	
	80.0000 - 100.0000																																	
Exemple	 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2"><i>n_j</i></th> <th colspan="2"><i>at_j (ha)</i></th> <th colspan="2"><i>a_j (ha)</i></th> <th colspan="2"><i>D_j (%)</i></th> <th colspan="2"><i>H_j</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th>1986</th> <th>2006</th> <th>1986</th> <th>2006</th> <th>1986</th> <th>2006</th> <th>1986</th> <th>2006</th> <th>1986</th> <th>2006</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forêts denses</td> <td>165</td> <td>217</td> <td>17 864</td> <td>14 852</td> <td>108,26</td> <td>68,44</td> <td>14,97</td> <td>5,39</td> <td>4,30</td> <td>4,69</td> </tr> </tbody> </table>		<i>n_j</i>		<i>at_j (ha)</i>		<i>a_j (ha)</i>		<i>D_j (%)</i>		<i>H_j</i>			1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006	Forêts denses	165	217	17 864	14 852	108,26	68,44	14,97	5,39	4,30	4,69
	<i>n_j</i>		<i>at_j (ha)</i>		<i>a_j (ha)</i>		<i>D_j (%)</i>		<i>H_j</i>																									
	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006	1986	2006																								
Forêts denses	165	217	17 864	14 852	108,26	68,44	14,97	5,39	4,30	4,69																								

Perspectives

<p>Propositions d'amélioration/ Optimisation</p>	<p><i>Analyse par régression linéaire avec l'indice d'occurrence des feux permettra d'améliorer l'indicateur d'impact environnemental des feux.</i></p> <p><i>Intégration des résultats issus du projet de recherche « Corifor » en cours</i></p>
<p>Références bibliographiques</p>	<p>Bamba, I., Y. S. S. Barima, and Jan Bogaert. "Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le Bassin du Congo en R. D. Congo.," 2010. http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/106388.</p> <p>Mouhamadou, InoussaToko, Fatou Touré, IsmailaTokolmorou, and Brice Sinsin. "Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé." <i>Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement</i> no. Volume 12 numéro 3 (November 16, 2012). http://vertigo.revues.org/13059#tocto3n2.</p> <p>Wulder, Michael A., Joanne C. White, Margaret E. Andrew, Nicole E. Seitz, and Nicholas C. Coops. "Forest Fragmentation, Structure, and Age Characteristics as a Legacy of Forest Management." <i>Forest Ecology and Management</i> 258, no. 9 (October 10, 2009): 1938–1949. doi:10.1016/j.foreco.2009.07.041.</p> <p>García-GigorroSoledad, and Saura Santiago. "Forest Fragmentation Estimated from Remotely Sensed Data: Is Comparison Across Scales Possible?" <i>Forest Science</i> 51, no. 1 (2005): 51–63.</p> <p>Hurd, James D., Emily Hoffhine Wilson, and Daniel L. Civco. "DEVELOPMENT OF A FOREST FRAGMENTATION INDEX TO QUANTIFY THE RATE OF FOREST CHANGE." 10. University of Connecticut, 2002.</p> <p>Riitters, Kurt, James Wickham, Robert O'Neill, Bruce Jones, and Elizabeth Smith. "Conservation Ecology: Global Scale Patterns of Forest Fragmentation," 2000. http://www.ecologyandsociety.org/vol4/iss2/art3/.</p>

Cet indicateur peut être calculé à partir des données existantes avec une fiabilité à caractériser en fonction des données sources (DTSI, OEIL ou Province Sud). Toutefois, l'estimation de cet indicateur à partir d'une **typologie spécifique à la thématique feu** permettra d'affiner et d'améliorer la pertinence et la sensibilité de cet indicateur.

Cet indicateur de fragmentation des forêts n'est pas spécifique à la problématique des feux : *« Cependant qu'il s'agisse des phases de prospection ou d'exploitation, le passage des engins et le raclage de la surface fragmentent les paysages en unités de végétation qui se différencient notamment par leur biomasse et leur composition floristique. Les incendies entretiennent cette fragmentation et constituent le principal frein à la reconstitution naturel des continuités écologiques notamment dans les forêts du Sud (Munzinger et al., 2008). » Extrait du projet CNRT Corifor.*

Il est nécessaire de coupler cette information avec une information sur les feux (cf Recensement ou Densité) afin de pouvoir être plus spécifique.

Cet indicateur est générique et ne prend pas en compte le contexte local. Il sera intéressant d'attendre les résultats du projet Corifor pour fournir un indicateur plus spécifique à la problématique et au territoire.

IV.3.2. Structure arborescente des savanes

Ibanez (2012) rappelle le rôle déterminant des feux dans la structure des savanes de Nouvelle-Calédonie : " Ainsi, comme le suggèrent Jaffré et al. (1998) et en accord avec les résultats de Staver et al. (2011b) , au vu du régime de précipitation [...] les savanes néo-calédoniennes sont des formations purement liées aux perturbations résultants de la limitation du couvert arboré par le pâturage et les incendies anthropiques." Il ajoute " Le pâturage peut être considéré comme un facteur majeur [...] sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie et à basse altitude [...], dans le reste de l'île [...] l'hypothèse que les incendies soient le principal facteur permettant le maintien des savanes est raisonnable. Dans ces zones, selon la fréquence des incendies, les forêts et les savanes se côtoient et peuvent représenter deux états alternatifs stables pouvant basculer d'un état à l'autre si une composante du régime de perturbation (fréquence, intensité...) vient à changer."

Definition, contexte et principales caractéristiques de l'indicateur

Indicateur	<i>Structure arborescente des savanes</i>
Version	<i>1</i>
Définition	<i>L'indicateur a pour objectif de donner une indication sur l' Augmentation du pourcentage de sol couvert par l'expansion naturelle du feuillage des plantes et donc sur un potentiel de reprise forestière si cette fermeture se situe en lisière de forêt</i>
Type de variable	<i>Quantitative</i>
Intervalle de variation de la variable	<i>Continue</i>
Unité de mesure	<i>sans unité</i>
Type d'indicateur	<i>Thématique et spatial</i>
Modalité d'interprétation	<i>Cet indicateur traduit le degré d'ouverture de la savane. Il traduit ainsi l'état de la végétation de type savane et de son maintien vis-à-vis de la pression exercée par les feux; les savanes ouvertes seront des milieux fortement dégradés et vulnérables aux feux et à des dégradations secondaires ; les savanes arborescentes constituent des milieux entretenus voire en cours de régénération.</i>
Valeur cible	<i>Non</i>
Sous-indicateurs	<i>-</i>

Périodicité de la mesure	<i>Annuelle</i>	
Pas de temps de restitution	<i>Annuelle</i>	
Dernier résultat connu	-	-
Date de publication de la première valeur de la série	-	
Continuité de la série	<i>La série doit être continue</i>	
Possibilité de rétro-calcul	<i>Partiellement</i>	
Niveau d'appropriation	<i>Expert</i>	
Echelle(s) territoriale(s) de restitution	<i>Territoire</i>	
Gain(s) de précision d'échelle	<i>Fort</i>	
Echelle de restitution	<i>Du 1/5000 au 1/20000</i>	
Précision spatiale	<i>De 2.5 cm à 10 m</i>	
Précision thématique	-	
Coût	<i>Faible</i>	

Généalogie de l'indicateur

Nature précise des données de base	<i>Occupation du sol, plus spécifiquement les classes de savanes avec distinction des milieux ouverts, semi-ouverts et fermés.</i> <i>Données satellitaires fusionnées.</i>
Généalogie des données de base	-
Mode de calcul	<i>Cet indicateur est un calcul de densité des formes arbustives et arborée de la savane. Celui-ci peut être appréhendé par la convolution au sein d'un filtre Kernel de la strate arborescente de la savane au sein des unités de savanes au sens large. Une autre méthodologie peut être proposée en exploitant l'indice de Simpson dans le cas de l'exploitation d'une typologie de la végétation avec des classes plus complexes (savane à niaouli, savane arborescente, autre).</i> $SIDJ = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$ Où : P_i = proportion de territoire occupée par la classe i
Producteur(s)	<i>A définir</i>

Modalité d'acquisition des données	<i>Demande et réception des données d'occupation du sol de l'OEIL, de la province sud, de la DTSI. Pour l'occupation du sol orienté feu, cf indicateur Typologie de la végétation.</i>
Accessibilité des données	
Délais d'acquisition	
Validation de l'indicateur	

Analyse de l'indicateur

Robustesse	
Efficacité	
Sensibilité	
Limites et biais connus	-
Qualité des données sources	
Avantages	<i>Permet d'obtenir une information sur la fermeture des milieux et donc sur une reprise forestière potentielle. L'écosystème savane agit comme une sentinelle de l'état de la forêt vis-à-vis des feux.</i>
Homogénéité des données	
Fiabilité des données	
Pérennité des données	
Abondance des données	

Représentation spatiale

Type d'objet	<i>Polygone</i>
Sémiologie graphique	
Exemple	

Perspectives

<p>Propositions d'amélioration/ Optimisation</p>	<p><i>Calibration Terrain afin d'effectuer une régression linéaire entre la densité du couvert végétal et une parcelle de validation.</i></p>
<p>Références bibliographiques</p>	<p>Hudak, A. T., and C. A. Wessman. "Textural Analysis of High Resolution Imagery to Quantify Bush Encroachment in Madikwe Game Reserve, South Africa, 1955-1996." <i>International Journal of Remote Sensing</i> 22, no. 14 (2001): 2731–2740.</p> <p>Adjorlolo, Clement. "Estimating Woody Vegetation Cover in an African Savanna Using Remote Sensing and Geostatistics.," 2008. http://researchspace.ukzn.ac.za/xmlui/handle/10413/420.</p> <p>Schröter, Matthias, Oliver Jakoby, Roland Olbrich, Marcus Eichhorn, and Stefan Baumgärtner. <i>Remote Sensing of Bush Encroachment on Commercial Cattle Farms in Semi-arid Rangelands in Namibia</i>. Working Paper Series in Economics. University of Lüneburg, Institute of Economics, 2009. http://ideas.repec.org/p/lue/wpaper/131.html.</p> <p>Bertrand Romain, 2007 ; Etude de l'impact du régime d'incendie sur la végétation et le chêne-liège (<i>Quercus suber</i>) en Provence siliceuse : mortalité, capacité de régénération et morphologie, Mémoire de Master Forêt, Nature et Société - AgroParisTech, Cemagref, 95 pages.</p>

L'ouverture des savanes peut être appréhendée selon des entités d'agréations différentes : carroyage DFCl, communes ou par unité de savane :

- Agrégation à l'échelle des communes : cet indicateur, de gain de précision d'échelle moindre, permettra une communication de l'état de l'impact environnemental pour les populations et décideurs ;
- Les échelles d'agrégation les plus « brutes » (unité de savanes) seront plus représentatives de la dynamique des impacts.

Cet indicateur découle des rencontres du lot 1 mais n'a pas semblé pertinent aux acteurs lors la réunion de restitution du 09/08/2013.

IV.3.3. Indicateurs proposés par l'OEIL

Sont présentés ici les indicateurs issus de l'expérience de l'OEIL et qui semblent pertinents à développer dans le cadre de l'action d'observatoire du Grand Sud, en appui aux gestionnaires des milieux, sur la thématique de l'impact des feux. Ces pistes seront donc à développer par l'observatoire dans des projets en continuité de cette première étude.

IV.3.3.a. Indicateurs de la richesse et de la vulnérabilité des formations végétales

Source <http://deployeur.univ-nc.nc/inc/modele.html> dernière consultation le 04/09/2013.

Ces indicateurs sont en attente de publication du projet INC. Une fois cette publication effectuée, ces indicateurs pourraient être rapidement renseignés.

Une cartographie des principales formations végétales a été effectuée sur la base des données d'occupation du sol, issues de SPOT (DTSI, Boyaud, 2008) validée à hauteur de 0,755 de coefficient Kappa, des données d'altitude, issues du Modèle Numérique de Terrain (MNT, DITTT) et des données de pédologie différenciant les principaux types de sols (ValPedo, IRD).

Huit principales formations végétales sont ainsi cartographiées et distinguées : la forêt dense humide (FDH) sur sols ultramafiques, la FDH sur sols volcano-sédimentaires, la FDH sur sols calcaires, le maquis minier sur sols ultramafiques de moyenne et basse altitude et celui de haute altitude, la forêt sèche, la savane et autres formations secondaires et la mangrove.

*Chaque formation végétale a ensuite été caractérisée selon deux indicateurs : **un indice de biodiversité et un indice de vulnérabilité** (utilisables indépendamment ou couplés).*

Le premier indicateur caractérise les formations végétales selon leurs taux d'espèces totales (PET), d'espèces endémiques (PEE) et d'espèces endémiques et spécifiques (PEES) par unité de surface.

Le deuxième indicateur, l'indice de vulnérabilité face au feu, est calculé par formation végétale, rendant compte de l'évolution d'une formation sous l'effet global des incendies (formation en régression ou en expansion – formation primaire ou secondaire) et enfin un temps de résilience pour chaque formation après le passage d'un incendie.

IV.3.3.b. Autres Indicateurs d'impacts environnementaux des feux

Une série de déclinaisons de l'indicateur d'impact environnemental sur la flore est possible. Les déclinaisons de cet indicateur de pression indirect, envisagées par l'OEIL, sont les suivantes :

- Impacts environnementaux des feux sur les services éco systémiques.

Cet indicateur se base sur un croisement entre la couche des surfaces brûlées et celle représentant la valeur éco-systémique des milieux. Cette donnée de base est actuellement réalisée dans le cadre de projets menés par l'ONG Conservation International. Lorsque cette donnée sera disponible il sera intéressant d'envisager l'intégration dans le processus de suivi de l'impact environnemental des feux.

- Impacts environnementaux des feux sur la valeur patrimoniale de l'écosystème.

Cet indicateur se base sur un croisement entre la couche des surface brûlées et celle représentant la valeur patrimoniale des écosystèmes. La valeur patrimoniale de certains écosystèmes fait déjà l'objet d'une inscription dans le code de l'environnement. Cette donnée de base est actuellement en cours de constitution par des projets menées par l'ONG Conservation International. Lorsque cette donnée sera disponible ou après un travail de mise en forme de donnée existante, il sera intéressant d'envisager l'intégration dans le processus de suivi de l'impact environnemental des feux.

- Impacts environnementaux des feux sur la faune.

Ce sujet relève entièrement de projet de recherche (cf III.1.5. Caractérisation de l'impact environnemental des feux p.17). Lorsque des avancées significatives auront été réalisées, il sera pertinent d'envisager l'intégration de cette information au suivi.

- Impacts environnementaux des feux sur les sols.

Il est intéressant de suivre l'initiative menée dans le cadre de l'ANR INC, notamment l'estimation du risque incendie pour l'enjeu érosion.

Source <http://deployeur.univ-nc.nc/inc/modele.html> dernière consultation le 04/09/2013.

Après un incendie la santé et le type de couverture végétale varient fortement. La formation végétale alors dégradée n'offre plus les mêmes services écosystémiques en termes de maintien des sols, de productivité (écosystèmes et agrosystèmes), et de stockage de carbone.

[...]

Un modèle empirique pour quantifier l'érosion des sols en Nouvelle-Calédonie a été développé, sur la base du modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) largement utilisé dans le monde. Ce modèle calcule l'érosion du sol selon une équation qui prend en compte le climat, les propriétés texturales pédologiques, la topographie, et le type de couverture végétale. Un coefficient d'érosion est affecté à chaque niveau de chaque variable. Lors d'un passage d'un incendie ce coefficient augmente pour les classes de formation végétale. Une carte de perte en sol après le passage d'un incendie a été réalisée sur toute la Nouvelle-Calédonie. Pour estimer l'impact des incendies sur la perte en sol, on soustrait la quantité de sol érodé après un incendie à la quantité de sol érodé au temps actuel. Cette différence nous informe sur la quantité de sol perdue liée aux incendies. Enfin le risque incendie pour l'enjeu de perte en sol est calculé en multipliant la probabilité de démarrage incendie avec l'impact décrit précédemment.

IV.3.3.c. Reprise végétale de la zone brûlée

Il serait pertinent de développer des approches sur la reprise végétale post incendie permettant de compléter les observations de l'indicateur d'impact environnemental des feux sur la flore, qui ne prends en compte que les milieux atteints. La définition d'un tel indicateur sera facilitée par la mise en place d'un suivi intégrant une révision régulière (annuelle ou pluriannuelle) de la typologie de la végétation.

IV.3.3.d. Caractérisation des interfaces habitations-forêt

Source : <http://fireintuition.efi.int/uploads/attachments/WUImap/Guide%20Interfaces-WEB.pdf>

Dernière consultation le 04/09/2013.

Cette caractérisation des interfaces habitations-forêt est une méthode de cartographie applicable sur de grandes surfaces et à une grande échelle, développée par le Ministère de l'écologie du développement et de l'aménagement durables ainsi que le Cemagref/Irstea en avril 2010. Elle est fondée sur la combinaison de quatre types d'organisation spatiale de l'habitat résidentiel (habitat isolé, habitat diffus, habitat groupé dense et habitat groupé très dense) avec trois natures de structure horizontale de la végétation traduisant sa capacité à propager le feu définies selon les valeurs d'un indice d'agrégation (végétation continue, végétation éparse, absence de végétation).

Aujourd'hui, la carte des interfaces habitat-forêt constitue un élément clé pour l'évaluation du risque d'incendie en métropole car elle permet de représenter de façon objective à l'échelle d'un territoire l'enjeu que constitue l'habitat résidentiel⁵. Cette approche semble donc pertinente pour intéresser les opérationnels de la gestion des feux ainsi que les gestionnaires.

IV.3.4. Les indicateurs de réponse

Les indicateurs de réponse n'ont pas été développés dans le cadre de cette étude, car une priorité forte a été placée sur la constitution de données de base sur les feux et la caractérisation des milieux.

Deux indicateurs de réponses ont néanmoins envisageables :

1. Moyens financiers pour la lutte - déployés au sol et aériens - et la sensibilisation,
2. Moyens financier pour la revégétalisation (surface replantée).

L'Apican, la DTSI et la CFF988 travaillant déjà sur des indicateurs internes concernant les réponses (moyens aériens déployés lors de la saison des feux). Il serait néanmoins intéressant dans une deuxième phase du projet de s'intéresser à la récolte et à la centralisation d'indicateurs financiers notamment sur le recensement des surfaces revégétalisées (Province Sud, WWF, programme forêt sèche du CEN) ou encore sur la sensibilisation.

⁵<http://www.irstea.fr/lespace-jeunesse/decouvrir/les-incendies-de-forets/interfaces-habitats-foret>
Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie. OEIL
11 rue Guynemer | 98800 Nouméa - Tél. / Fax : 23 69 69 - www.oeil.nc

Chapitre V - Conclusion

Cette proposition d'indicateurs opérationnels permet d'appréhender les deux thématiques centrales, que sont la localisation des pressions et la caractérisation des milieux impactés, souhaitées par les utilisateurs du suivi. Elle permet également de qualifier l'étendue, l'ampleur et la fréquence de l'impact environnemental des feux.

Ces indicateurs sont essentiellement des indicateurs de pression et d'état des écosystèmes. Il serait néanmoins intéressant dans une deuxième phase du projet de s'intéresser aux indicateurs de réponse afin de sensibiliser les politiques et le grand public aux impacts financiers d'un incendie.

Ces indicateurs sont une proposition « à tiroir ». Certains constituent les informations de base pour un suivi de l'impact environnemental des feux comme le recensement des feux ainsi que la consolidation d'une typologie de la végétation (indicateur de successions végétales). Ces informations sont actuellement des sources de données hétérogènes sur lesquels on ne pourrait baser un suivi solide.

Le lot 3 : Protocole de suivi opérationnel de l'impact environnemental des feux, proposera une amélioration des protocoles actuels afin de palier à ce point faible pour la constitution des indicateurs proposés plus haut.

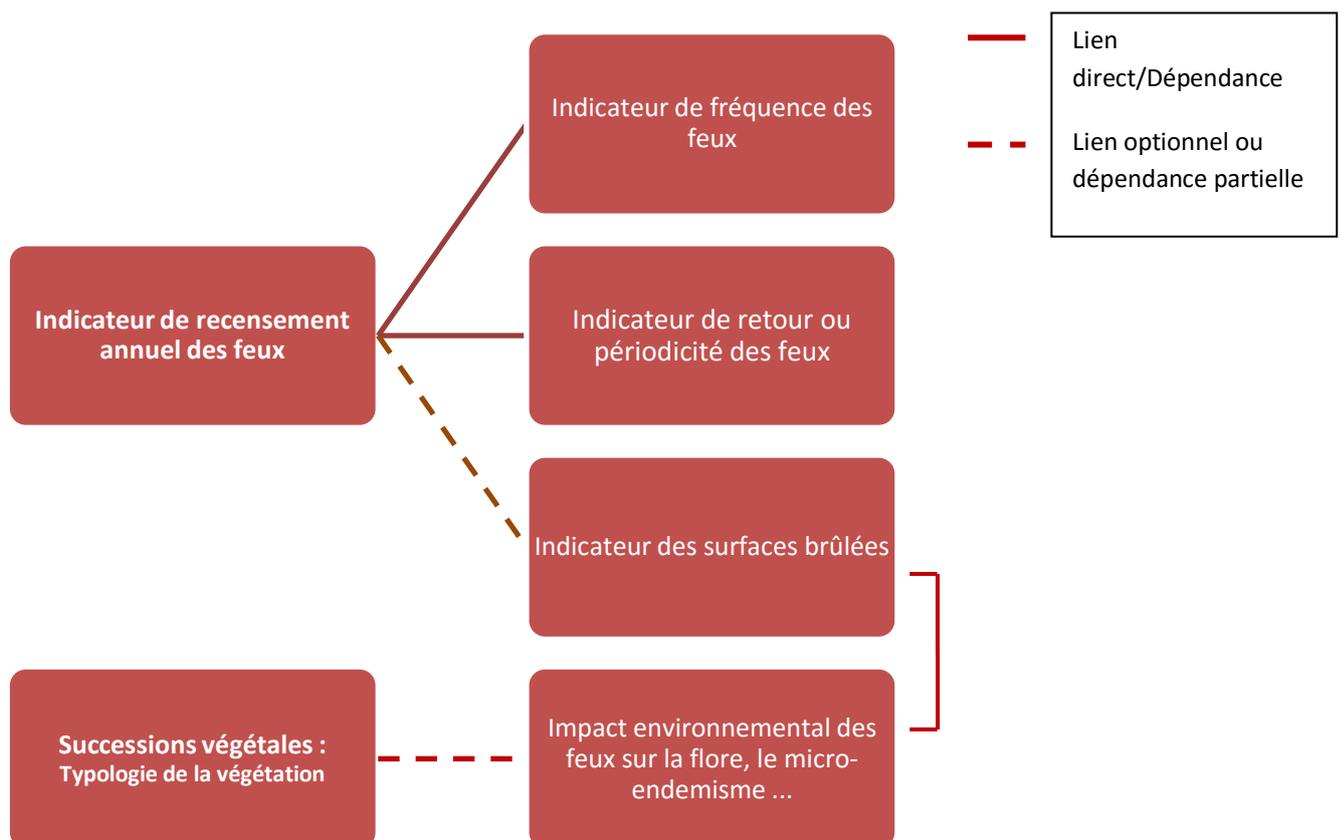


Figure 5 : Exemple de synthèse des liens entre les différents indicateurs proposés

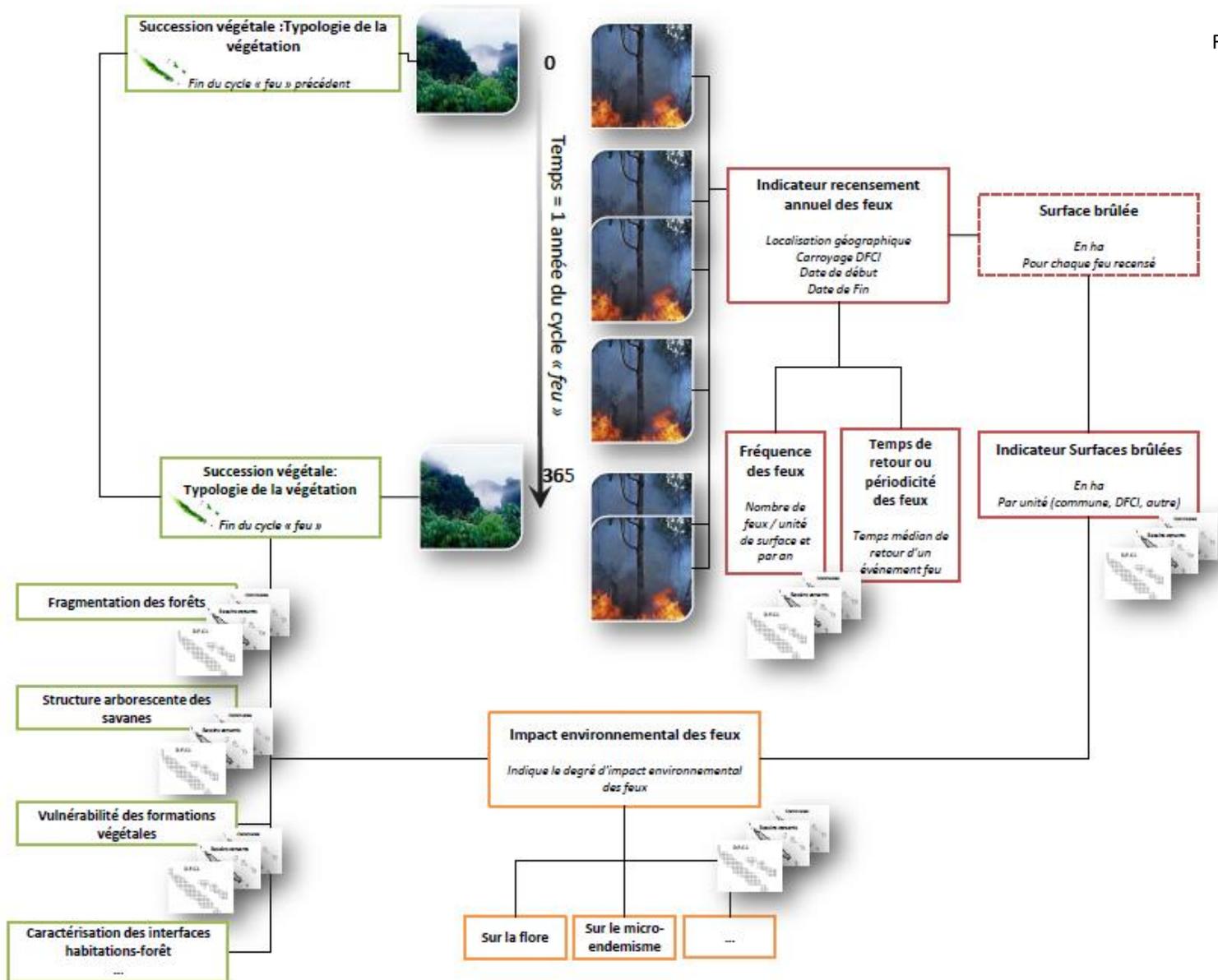


Figure 6 : schéma synthétique de la mise en place opérationnelle du suivi de l'impact environnemental des feux.

La figure 6 représente un premier agencement temporel pour la création des différents indicateurs. L'unité temporelle de base est donc l'année incluant la saison des feux, 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 de caractériser les 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.

Chapitre VI - Bibliographie

- Bucini G. & Lambin F. Fire impacts on vegetation in Central Africa : a remote-sensing based statistical analysis, 2002. *Applied Geography* 22 27 - 48.
- Fontannaz, Delphine, et Bernard Allenbach. « Benefiting from International Charter experience for setting up the SAFER service quality system ». ISPRA – Italy, 2009.
- Franklin, Janet, Alexandra D Syphard, David J Mladenoff, Hong S He, Dena K Simons, Ross P Martin, Douglas Deutschman, et John F O'Leary. « Simulating the effects of different fire regimes on plant functional groups in Southern California ». *Ecological Modelling* 142, n° 3 (15 août 2001): 261-283. doi:10.1016/S0304-3800(01)00286-1.
- Giglio, Louis. *Modis Collection 5 Active Fire Product User's guide*. University of Maryland, 18 février 2010.
- « Guide de management SSE ». Consulté le 11 juillet 2013. http://www.ineris.fr/guide-sse/guide/fiches/fiche_2/Fiche_02_a2.htm.
- Hoffmann, William A., Birgit Orthen, et Paula Kielse Vargas do Nascimento. « Comparative Fire Ecology of Tropical Savanna and Forest Trees ». *Functional Ecology* 17, n° 6 (2003): 720–726. doi:10.1111/j.1365-2435.2003.00796.x.
- Hudak, A. T., et C. A. Wessman. « Textural analysis of high resolution imagery to quantify bush encroachment in Madikwe Game Reserve, South Africa, 1955-1996 ». *International Journal of Remote Sensing* 22, n° 14 (2001): 2731-2740.
- Ibanez, Thomas. « Dynamiques des forêts denses humides et des savanes en réponse aux incendies en Nouvelle-Calédonie ». Université Aix-Marseille, 2012. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00681865>.
- Jaffré, Tanguy, Frédéric Rigault, et Gilles Dagostini. « Impact des feux de brousse sur les maquis ligno-herbacés des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie ». *Adansonia* 20, n° 1 (1998): 173-189.
- Jaffré, Tanguy, Jean-Marie Veillon, Frédéric Rigault, Gilles Dagostini, Jean Chazeau, Lydia Bonnet de Larbogne, Tana Potiaroa, et Hervé Jourdan. *Impact des feux de brousse sur le milieu naturel en Nouvelle-Calédonie : 1. Impact des feux de brousse sur la flore et les groupements végétaux. 2. Altération de la diversité faunistique dans un milieu dégradé par le feu : le cas de la forêt sclérophylle : diversité faunistique et structure des peuplements d'une forêt sclérophylle et d'une formation dérivée, le fourré à Acacia spirorbis ; feux de brousse et invasion des milieux du domaine sclérophylle par la fourmi pionnière Wasmanniaauropunctata*. Nouméa: ORSTOM, 1997. IRD Bondy. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010011057>.
- Keeley, J. E. « Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage ». *International Journal of Wildland Fire* 18, n° 1 (2009): 116-126.
- « Les procédures d'évaluation environnementale - Ministère du Développement durable ». Consulté le 11 juillet 2013. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-procedures-d-evaluation,12012.html>.
- Liedloff, Adam C., et Garry D. Cook. « Modelling the effects of rainfall variability and fire on tree populations in an Australian tropical savanna with the Flames simulation model ». *Ecological Modelling* 201, n° 3-4 (10 mars 2007): 269-282. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.013.

- Linster, Myriam. *OCDE ENVIRONMENTAL INDICATORS: Development, Measurement and use*. OCDE, 2003.
- McCoy, S., T. Jaffré, F. Rigault, et J. E. Ash. « Fire and Succession in the Ultramafic Maquis of New Caledonia ». *Journal of Biogeography* 26, n° 3 (1999): 579–594. doi:10.1046/j.1365-2699.1999.00309.x.
- McCoy, S., Tanguy Jaffré, Frédéric Rigault, et J.E. Ash. « Fire and Succession in the Ultramafic Maquis of New Caledonia ». *Journal of Biogeography* 26 (1999): 579-594. doi:10.1046/j.1365-2699.1999.00309.x.
- Michaletz, S T, et E A Johnson. « A heat transfer model of crown scorch in forest fires ». *Canadian Journal of Forest Research* 36, n° 11 (1 novembre 2006): 2839-2851. doi:10.1139/x06-158.
- « Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs ». Consulté le 11 juillet 2013. <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/>.
- Mouhamadou, InoussaToko, Fatou Touré, IsmailaTokolmorou, et Brice Sinsin. « Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé ». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* n° Volume 12 numéro 3 (16 novembre 2012). <http://vertigo.revues.org/13059#tocto3n2>.
- Nepstad, Daniel C., AdalbertoVerssimmo, AneAlencar, Carlos Nobre, Eirivelthon Lima, Paul Lefebvre, Peter Schlesinger, et al. « Large-scale Impoverishment of Amazonian Forests by Logging and Fire ». *Nature* 398, n° 6727 (8 avril 1999): 505-508. doi:10.1038/19066.
- Olej, Vladimír, IlonaObršálová, etJiríKrupka, éd. *Environmental Modeling for Sustainable Regional Development*. IGI Global, 2010. <http://www.igi-global.com/chapter/remote-sensing-bush-encroachment-commercial/49328>.
- Perry, G. L. W., et N. J. Enright. « Spatial Modelling of Landscape-scale Vegetation Dynamics, Mont Do, New Caledonia ». *South African Journal of Science* 97, n° 11-12 (2001): 501-509.
- Perry, G.L.W., N.J. Enright, et Tanguy Jaffré. « Spatial Modelling of Landscape-scale Vegetation Dynamics, Mont Do, New Caledonia ». *South African Journal of Science* 97 (2001): 501-509.
- Perry, George L. W., et N. J. Enright. « Humans, Fire and Landscape Pattern: Understanding a Maquis-forest Complex, Mont Do, New Caledonia, Using a Spatial 'state-and-transition' Model ». *Journal of Biogeography* 29, n° 9 (2002): 1143–1158. doi:10.1046/j.1365-2699.2002.00774.x.
- Romain, Bertrand. *Etude de l'impact du régime d'incendie sur la végétation et le chêne-liège (Quercus suber) en Provence siliceuse : mortalité, capacité de régénération et morphologie*. Mémoire de Master. Agro Paris Tech, 2007.
- Smith R. *et al.* Estimating the area of stubble burning from the number of active fires detected by satellite, 2007. *Remote Sens. of Env.* 109 95 - 106.
- Wagner, C. E. Van.« Height of Crown Scorch in Forest Fires ». *Canadian Journal of Forest Research* 3, n° 3 (1 septembre 1973): 373-378. doi:10.1139/x73-055.
- Wulder, Michael A., Joanne C. White, Margaret E. Andrew, Nicole E. Seitz, et Nicholas C. Coops. « Forest fragmentation, structure, and age characteristics as a legacy of forest management ». *Forest Ecology and Management* 258, n° 9 (10 octobre 2009): 1938-1949. doi:10.1016/j.foreco.2009.07.041.