

Prestation de Sylvain Broucke

Ingénieur en Sciences et Techniques de l'Information et Communication

Pour le compte de l'Unité ESPACE

Dans le cadre du projet ANR Biodiversité INC (« Incendie et Biodiversité »)

# **Évaluation du régime du feu en Nouvelle-Calédonie à partir de moyen de télédétection**

***Novembre 2009***

## Table des matières

I A propos des données.....	4
I.1 MODIS Burned Area .....	4
I.2 MODIS Fire Hot Spot (Terra et Aqua).....	5
I.3 Sécurité civile.....	5
I.4 Regroupement en départs de feu.....	6
I.5 Répartition des données .....	6
II Le Régime du feu .....	7
II.1 Intensité du feu .....	7
II.2 Surfaces brûlées.....	8
II.3 Cycle du feu.....	9
II.3.a A partir des données MODIS .....	9
II.3.b A partir des données de la sécurité civile 2007-2009.....	9
II.4 Répartition spatiale .....	10
II.4.a Densité des feux .....	10
II.4.b Surfaces des feux .....	12
II.4.c Intensité du feu : Force de radiation du feu.....	14
II.5 Saisonnalité.....	17
II.5.a Séries temporelles .....	17
i) Nombre d'occurrences de départ de feux .....	17
ii) Surface brûlée.....	17
iii) Intensité des feux.....	18
II.5.b Répartition par mois de l'année.....	19
i) Nombre d'occurrences de départ de feux .....	19
ii) Surface brûlée.....	19
iii) Intensité des feux.....	20
II.5.c Répartition par jour de la semaine .....	21
i) Nombre d'occurrences de départ de feux .....	21
ii) Surface brûlée.....	21
iii) Intensité des feux.....	22
II.6 Retour du feu .....	23
II.6.a Surfaces associées .....	23
II.7 Croisement avec l'occupation du sol .....	25
II.7.a Les points de détection de feux par classe .....	26
II.7.b Les surfaces brûlées par classe .....	27
II.7.c La force de radiation du feux par classe.....	28
III Conclusions .....	28
IV Références .....	28

Ce rapport présente les résultats et analyses de l'évaluation du feu en Nouvelle-Calédonie par de moyens de télédétection. Il abordera l'ensemble des caractéristiques connus permettant de caractériser le régime du feu par télédétection. Ces caractéristiques sont : la fréquence, le cycle, l'intensité, l'étendue spatiale et la saisonnalité. Ces données seront étudiées à plusieurs niveaux (territorial, provincial, communal) et elles seront également croisées avec l'occupation du sol. Ce qui permettra de donner une caractérisation la plus précise possible du régime du feu en Nouvelle-Calédonie réalisée à partir de donnée de télédétection. Les données utilisées proviennent des satellites MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua et Terra. Certaines données de la sécurité civile ont également été utilisées.

## I A propos des données

Les données utilisées pour cette étude sont principalement issues de la télédétection. Les données utilisées proviennent des satellites MODIS Aqua et Terra. Le produit Burned Area et Hot Spot ont été utilisés. Pour cette étude, en complément, les données de la sécurité civile qui avaient été correctement spatialisées ont également été rajoutées.

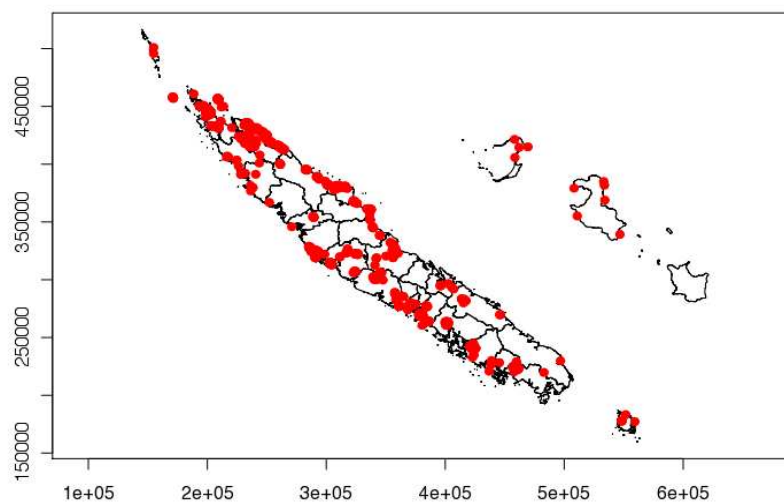
Les données MODIS utilisées ne détectent pas de manière exhaustive les feux en Nouvelle-Calédonie, mais ils permettent néanmoins de donner un représentation statistique du phénomène de feux en Nouvelle-Calédonie à partir de données disponible sur les 10 dernières années.

Les données de la sécurité civile sont quand à elle beaucoup plus exhaustive bien que très hétérogène dans leur renseignement. Leurs principaux inconvénients sont leur faible période de disponibilité, 2007-2009 et le fait qu'elles soient renseignées au niveau géographique de manière encore insuffisante pour pouvoir effectuer une réelle évaluation du régime du feu.

### I.1 MODIS Burned Area

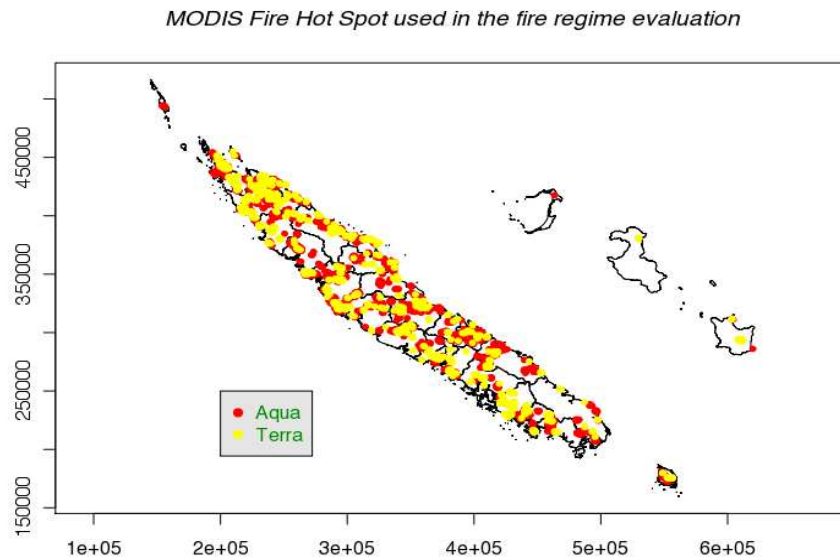
Le produit MODIS Burned Area utilisé donne avec une précision de 500m les zones contenant de la surface brûlée. La période de disponibilité des données est de 2000 à nos jours. La dernière acquisition pour l'étude a été faite en Septembre 2009. Ci-dessous une carte montrant la répartition géographique des données. Ci-dessous une carte montrant la répartition géographique des données.

*MODIS Burned Area used in the fire regime evaluation*



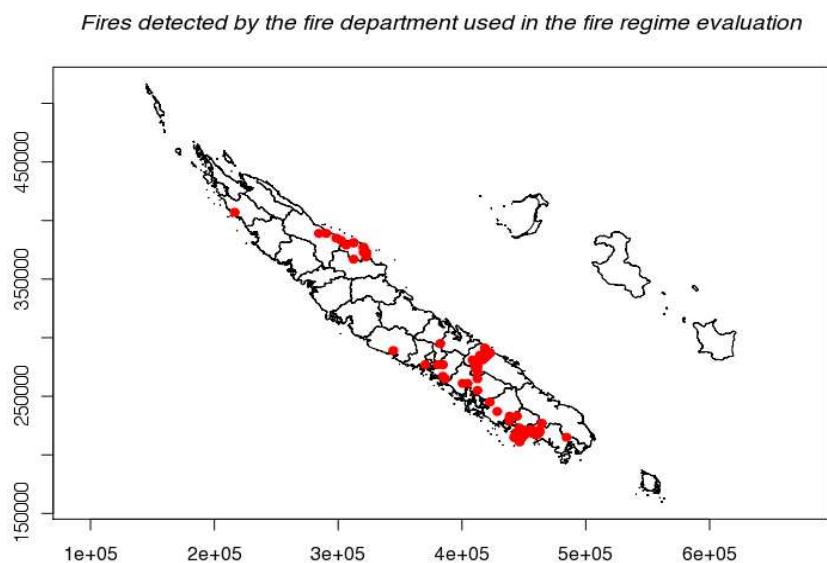
## I.2 MODIS Fire Hot Spot (Terra et Aqua)

Le produit MODIS Fire Hot Spot utilisé donne avec une précision de 1000m les zones qui brûlent au moment du passage du satellite. La période de disponibilité des données est de 2000 à nos jours. La dernière acquisition pour l'étude a été faite en Septembre 2009. Ci-dessous une carte montrant la répartition géographique des données.



## I.3 Sécurité civile

Les données de la sécurité civile utilisées ont été sous forme de fichier Excel. Celles qui ont été utilisées sont celles qui étaient correctement renseignées au niveau géographique. Cela ne représente que 85 feux tous répartis sur la période Octobre 2008-février 2009. Sur le graphique ci-dessous, on peut voir également la répartition géographique de ces feux. On peut voir que leur répartition est très hétérogène notamment en la comparant à la répartition des données MODIS.

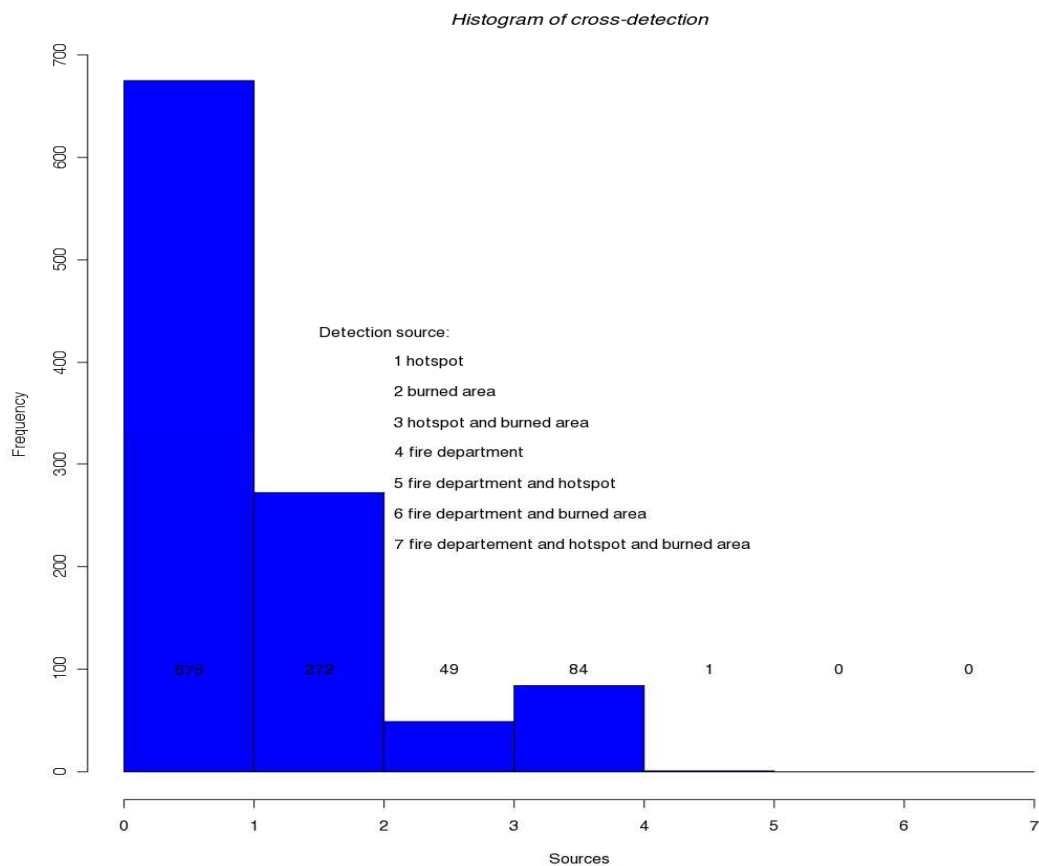


Les données dans leur globalité sont assez exhaustive bien que très hétérogènes sur le territoire car récolté par les différents centres de la sécurité civile. Elles ont servis notamment pour effectuer un calcul du cycle beaucoup plus proche de la réalité que celui à partir des données MODIS.

## 1.4 Regroupement en départs de feu

Les données utilisées nous donnent des informations sur des zones où il y aurait eu des feux sans que l'on sache lesquelles font parti d'un départ de feu. C'est pour cette raison que nous avons utilisé un algorithme de regroupement en départ de feu. Cette algorithme regroupe les détections de feux qui sont proches dans le temps et dans l'espace (jusqu'à 1 jour de différence, et jusqu'à 2 km de distance). En sortie, l'on obtient à partir de presque 5000 points de détection de feu, 1081 départs de feu avec des caractéristiques telles que : l'aire, et le début et la fin du feu en plus de la localisation géographique.

## 1.5 Répartition des données



Les différentes données utilisées sont très complémentaires. En effet, lorsque que l'on fait l'histogramme de détections croisées des départs de feu. Il n'y a que 49 départs de feux détectés à la fois par des Fire Hot Spot et des Burned Area de MODIS et 1 départ de feux détecté à la fois par la sécurité civile et par les Fire Hot Spot. Pour le reste, pratiquement 2/3 des départs de feux sont détecté uniquement par des Fire Hot Spot, pratiquement 1/3 par les Burned Area, et moins d'1/10 par la sécurité civile uniquement.

## II Le Régime du feu

L'étendu des effets du feu pour un endroit donné dépend du type de régime de feu présent. Le régime du feu décrit la nature du feu sur un intervalle de temps long. La période de disponibilité des données (une dizaine d'année pour les données MODIS) est très courte pour permettre une réelle évaluation du régime du feu. Cependant, les données nous permettront de dégager les grandes caractéristiques des feux en Nouvelle-Calédonie sur les dix dernières années.

Le régime du feu déterminé par des moyens de télédétection est généralement décrit par les caractéristiques suivantes: la fréquence, le cycle, l'amplitude (à travers une caractérisation de l'intensité), l'étendue spatiale et la saisonnalité.

### II.1 Intensité du feu

L'intensité du feu est évaluée à partir de la force de radiation du feu (FRP : Fire Radiative Power). Cette mesure de la force de radiation du feu est exprimée en mégawatt (MW) dans le produit Fire Hot Spot de MODIS. C'est la force de radiation captée qui est ensuite ramenée en fonction de la surface du pixel.

Force de Radiation du Feu (FRP): taux d'énergie de radiation instantanée et intégrée émis par tous les feux dans le pixel du satellite (Kaufman et al., 1998; Wooster et al. 2003):

$$FRP = A_{sa} \varepsilon \sigma \sum_{i=1}^n f_i T_i^4$$

A = l'aire totale du pixel du satellite [m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  = émissivité du feu

$\sigma$  = constante de Stephan-Boltzmann [5.67x10<sup>-8</sup>J<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>]

$f_i$  = l'aire fractionnelle de la i<sup>ème</sup> composante thermique

$T_i$  = température de la i<sup>ème</sup> composante thermique [K].

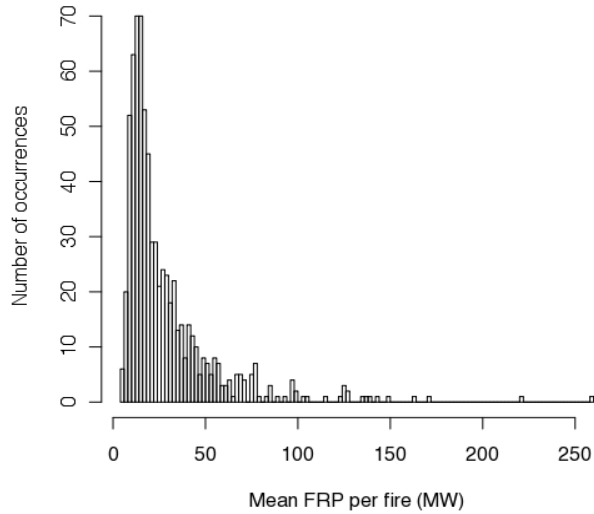
Il a été montré que le FRP était corrélé avec taux de combustion instantanée de la biomasse (Wooster, 2002).

Les satellites MODIS Terra et Aqua sont les premiers capteurs à permettre un calcul systématique du FRP à l'échelle global (Justice et al., 2002).

Une étude sur l'évaluation de la sévérité du feu à partir du FRP de MODIS a suggérée que le FRP de MODIS était insuffisant pour une évaluation directe de la sévérité du feu et qu'il était cependant un bon indicateur de l'extension spatiale de la zone brûlée et du taux de consommation intégré de la biomasse (« integrated biomass consumption rate » en anglais) (Csiszar et al., 2005)

Les mesures du FRP ont été utilisées tout au long de l'étude, notamment pour la répartition spatiale et la saisonnalité. Ci-dessous l'histogramme du FRP moyen par feu.

Mean FRP distribution



## II.2 Surfaces brûlées

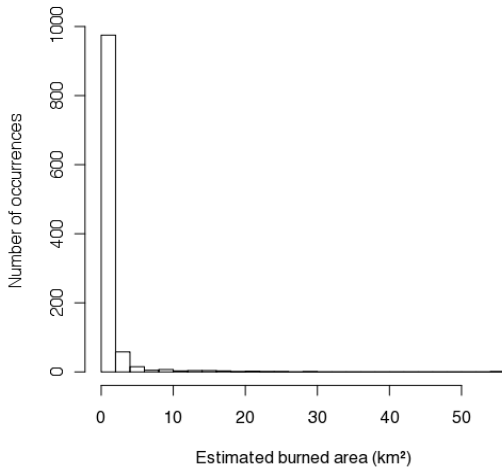
Le calcul des surfaces brûlées a été réalisé après la polygonisation des dépôts de feux. En effet, les différents points de détections correspondants à un même départ de feu dessinent une surface brûlée à priori dont il a fallu déterminer les contours. Pour cela, nous avons utilisé une technique de polygonisation appelée convex Hull qui permet de déterminer les contours d'un groupe de point en minimisant le nombre de sommet utilisé pour le polygone. Nous obtenons donc un ensemble de polygones correspondants à chaque feu avec pour chacun d'eux les informations suivantes:

- Aire (surface brûlée)
- Date (deb, fin)
- FRP (min, max, moyen – donnée issu des Fire Hot Spot s'il y en a dans le feu)
- Nombre de points de détection pour chaque type de source

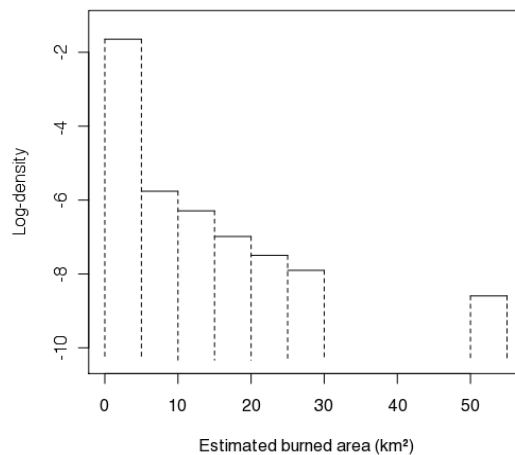
Les mesures d'aire des surfaces brûlées estimées par cette méthode ont été utilisée tout au long de l'étude, notamment pour la répartition spatiale, la saisonnalité et le cycle du feu.

Ci-dessous l'histogramme classique des surfaces brûlées l'histogramme en densité logarithmique.

Burned area distribution



Burned area distribution



## II.3 Cycle du feu

Le cycle du feu représente le temps moyen qu'il faut pour brûler une surface équivalente à la zone d'étude. Ici, la zone d'étude est la Nouvelle-Calédonie toute entière.

### II.3.a A partir des données MODIS

Surface de la Nouvelle-Calédonie :

$$S = 18575,5 \text{ km}^2$$

Période d'étude :

$$T = 9,6 \text{ ans}$$

Surface brûlée totale estimée à partir de nos calculs :

$$SB = 922,85 \text{ km}^2$$

Cycle en Nouvelle-Calédonie à partir des données de télédétection MODIS :

$$C = S \cdot T / SB = 194,1 \text{ ans}$$

A titre indicatif, le cycle du feu trouvé dans la littérature (Craig & al, 2002) sur une étude à partir de données NOAA réalisée sur l'Australie.

Cycle en Australie = 13 ans

Le cycle du feu estimé est très long. Ceci est dû au fait que l'estimation des surfaces brûlées par moyen de télédétection est difficile. D'autant que la taille des surfaces brûlées en Nouvelle-Calédonie est assez petite comparée aux moyens employés. La résolution de 1km est beaucoup plus appropriée aux très grandes surfaces. L'estimation des surfaces brûlées en Nouvelle-Calédonie est probablement très optimiste, ce qui fait que le cycle devrait en réalité être beaucoup plus court. Une partie non négligeable des feux n'est pas détecté par les moyens de télédétection. En effet, si l'on fait les calculs du cycle à partir des données de la sécurité civile on trouve un cycle beaucoup plus court.

### II.3.b A partir des données de la sécurité civile 2007-2009

Surface de la Nouvelle-Calédonie :

$$S = 18575,5 \text{ km}^2$$

Période d'étude :

$$T = 2 \text{ ans}$$

Surface brûlée totale estimée à partir des données de la sécurité civile :

$$SB = 2852,2 \text{ km}^2$$

Cycle en Nouvelle-Calédonie à partir des données de la sécurité civile :

$$C = S \cdot T / SB = 13,0 \text{ ans}$$

Le cycle obtenu à partir de ces données semble beaucoup plus cohérent. En effet, même si les données de la sécurité civile sont à remettre en question au niveau de la précision, elles offrent sûrement une meilleure représentativité, en particulier pour les grands feux. Le problème des données de la sécurité civile est qu'elles sont spatialisées de manière beaucoup trop inégale sur le territoire. Rendant difficile leur exploitation dans le régime des feux.

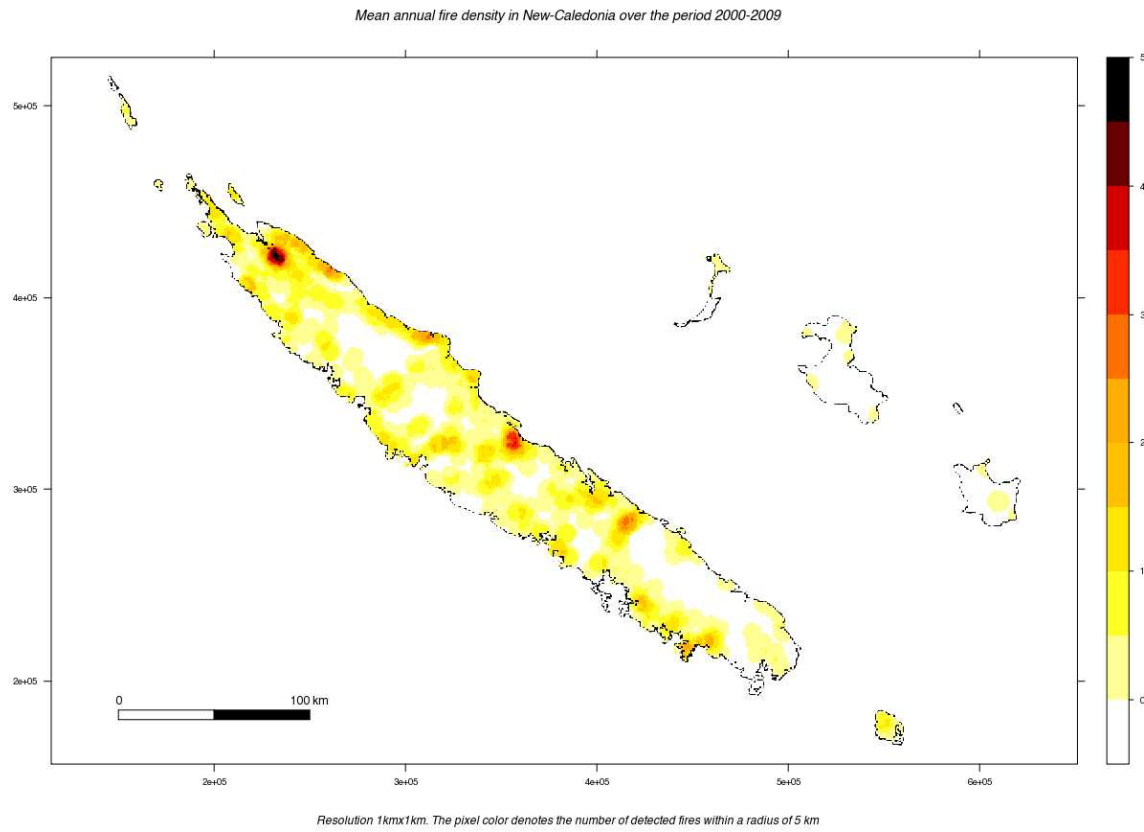
## II.4 Répartition spatiale

### II.4.a Densité des feux

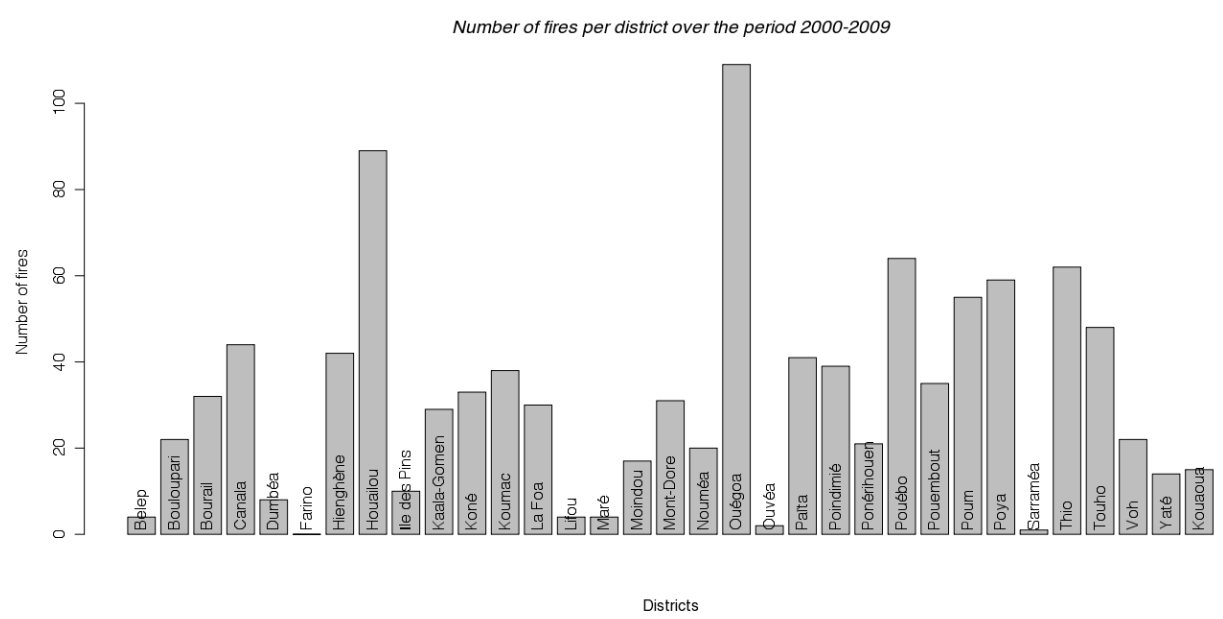
La carte ci-dessous présente la densité annuelle des feux sur la période 2000-2009. Chaque pixel représente le nombre moyen de feux qui ont lieu dans son voisinage. En Nouvelle-Calédonie et



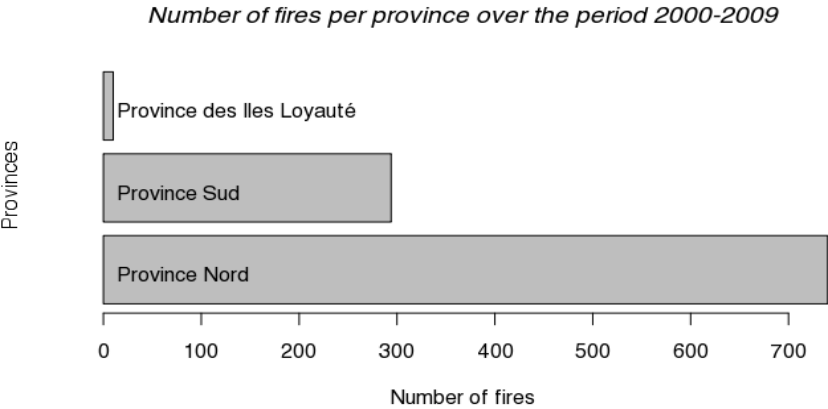
d'après nos données spatialisées, la densité s'étale entre 0 et 6 feux par an pour chaque zone de 5Km de rayon.



Le diagramme suivant présente le nombre de feux observés par commune sur la 2000-2009.

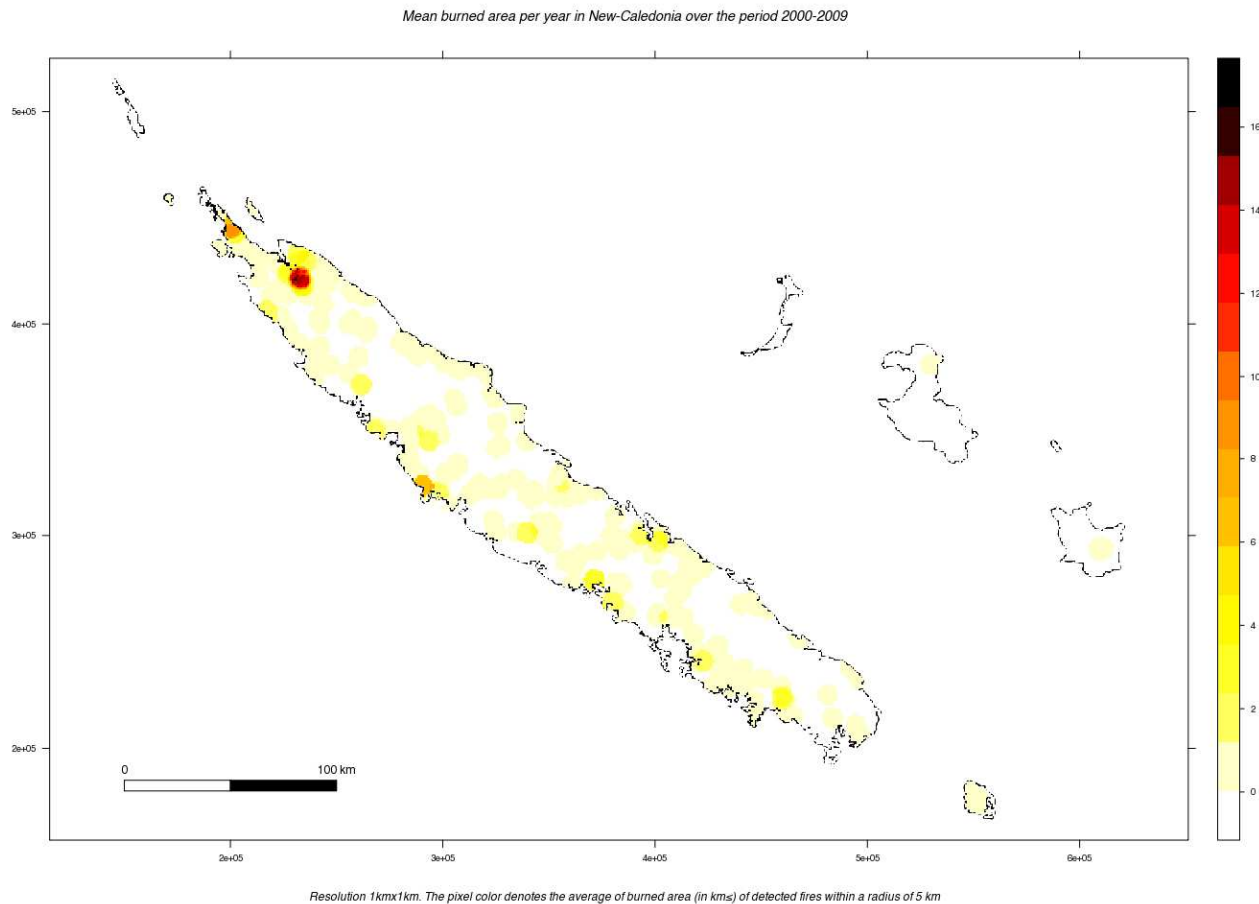


Le diagramme ci-dessous présente le nombre de feux observés par province sur la 2000-2009.

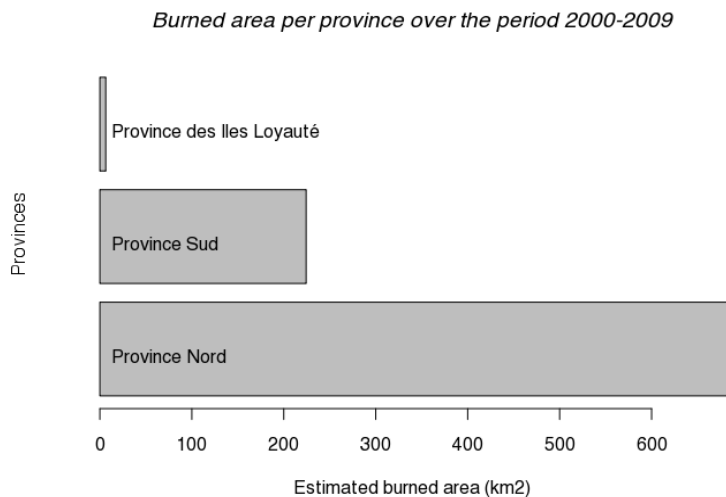


## II.4.b Surfaces des feux

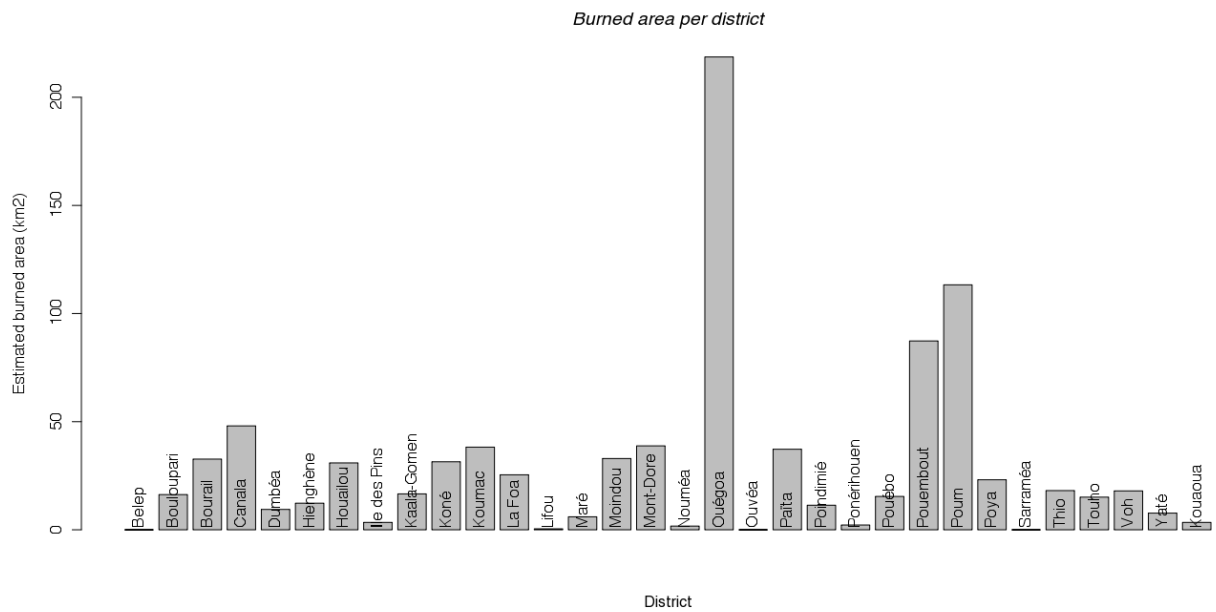
La carte ci-dessous présente la surface brûlée moyenne par an. Chaque pixel représente la surface brûlée moyenne dans son voisinage (ici 5 km de rayon). La surface brûlée moyenne s'étale entre 0 et 17 km<sup>2</sup>.



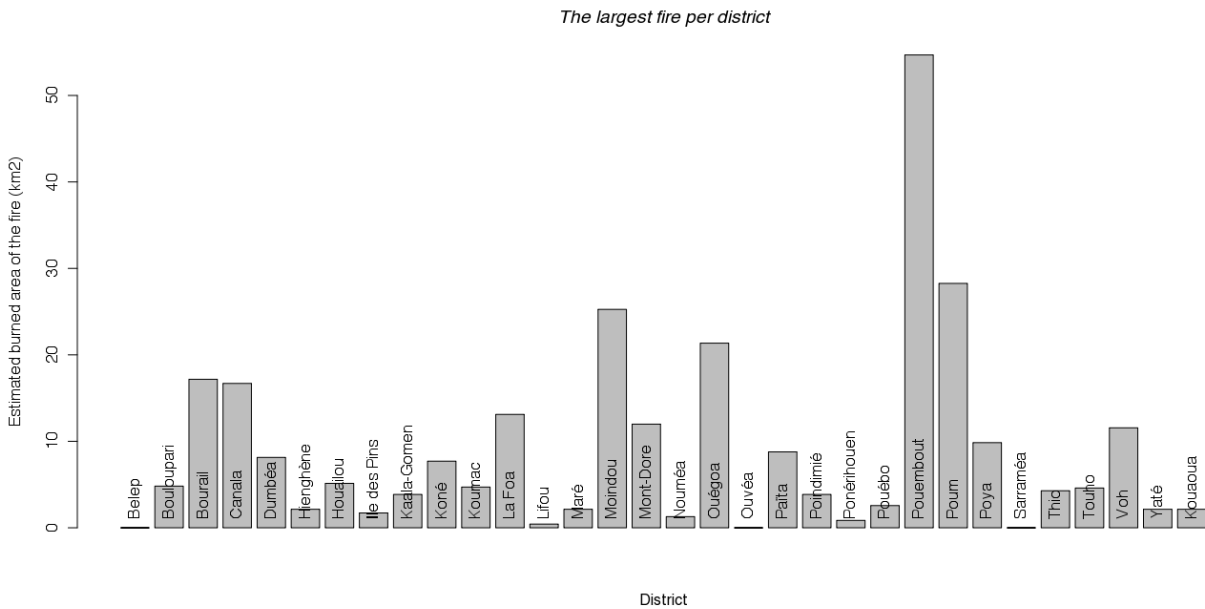
Les diagrammes ci-dessous présente la surface brûlée totale estimée sur la période 2000-2009 par province.



Le diagramme ci-dessous présente la surface brûlée totale estimée sur la période 2000-2009 par commune.

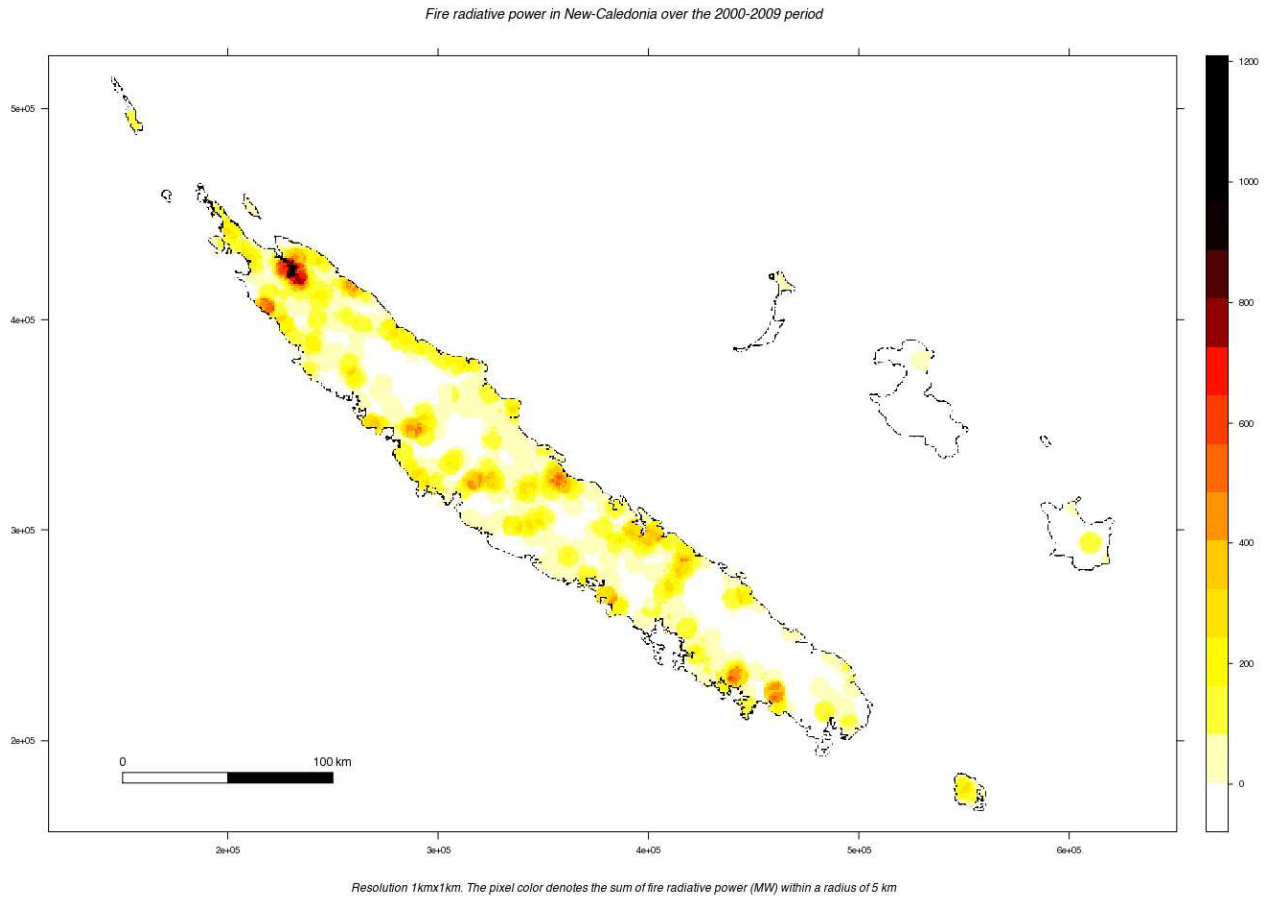


Le diagramme ci-dessous donne la surface brûlée pour chacun des plus gros feux de la période 2000-2009 par communes.



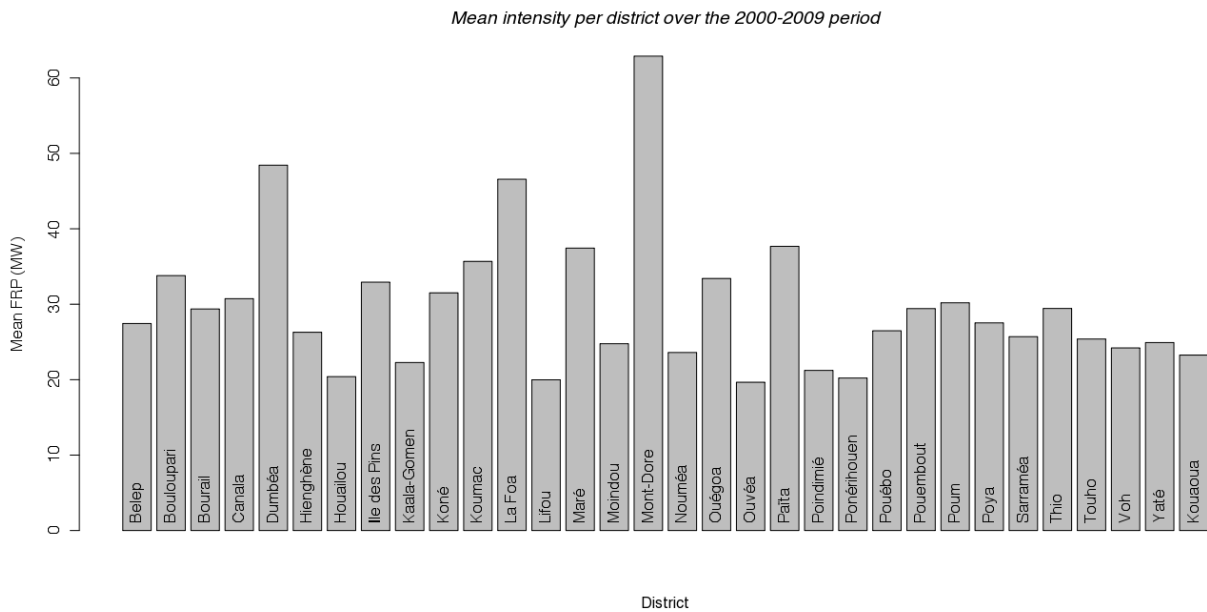
### II.4.c Intensité du feu : Force de radiation du feu

Le carte ci-après montre la répartition en intensité des feux. La valeur du pixel représente la somme des forces de radiation du feu (FRP en anglais) en MW observées dans le voisinage du pixel. Plus la couleur est sombre, plus il y a eu de feux forts dans la région considérée.

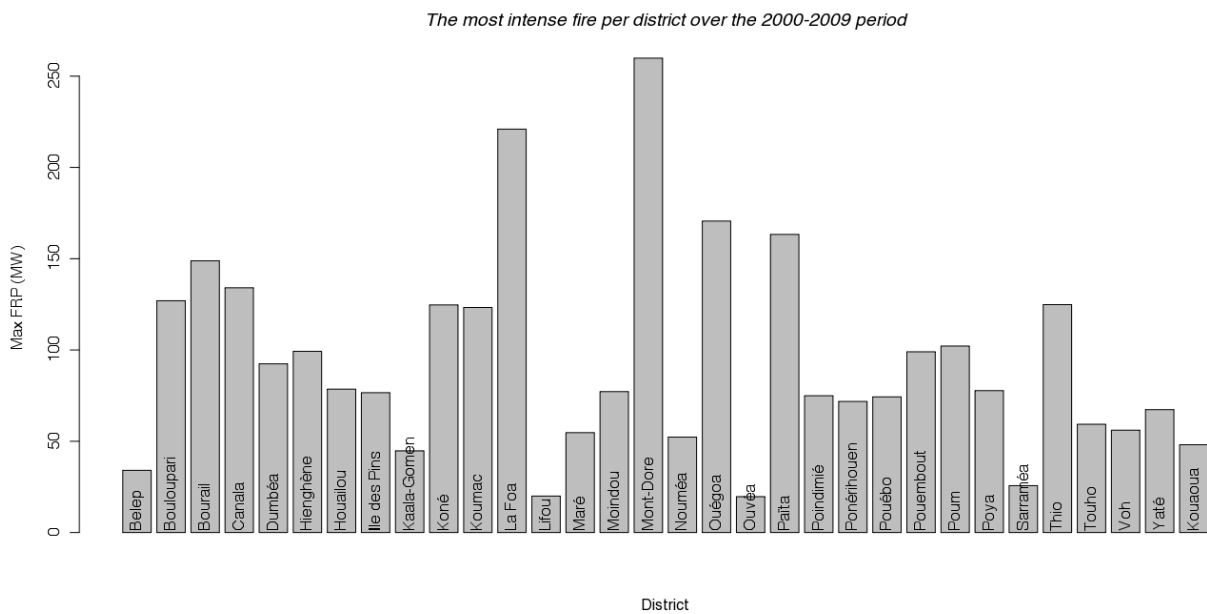


Le diagramme ci-dessous montre l'intensité moyenne des feux par commune. L'intensité moyenne des feux est ici quantifiée grâce à la force de radiation du feu en MW.

Le diagramme ci-dessous montre l'intensité moyenne des feux par commune. L'intensité moyenne

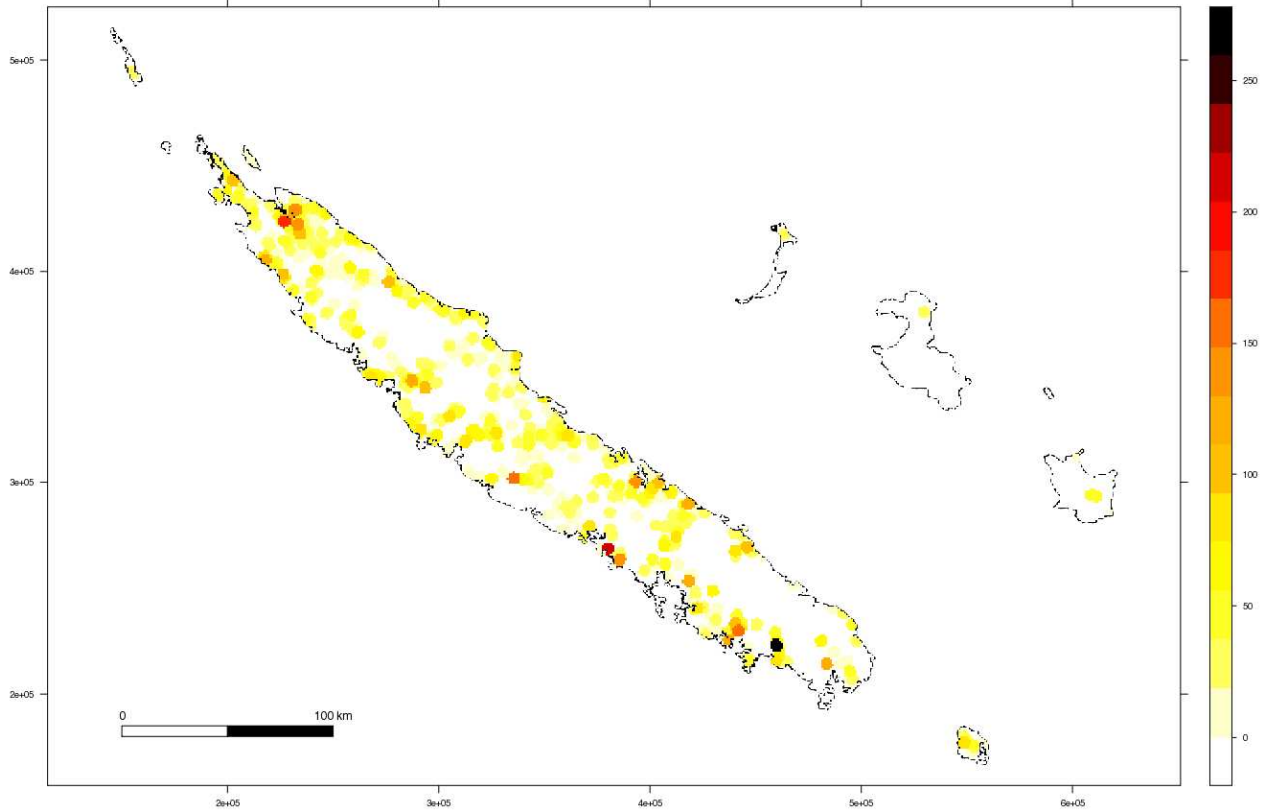


des feux est ici quantifiée grâce à la force de radiation du feu en MW.



La carte ci-après, présente l'intensité des feux les plus intenses qui ont eu lieu à chaque endroit. Chaque pixel représente la force de radiation du feu le plus intense qui a eu lieu dans son voisinage (3km de rayon ici). Les feux ayant eu l'intensité la plus forte ont émis une force de radiation moyenne de 270 MW.

*The most powerfull fires in New-Caledonia over the 2000-2009 period*



*Resolution 1kmx1km. The pixel color denotes the maximum of fire radiative power (MW) within a radius of 3 km*

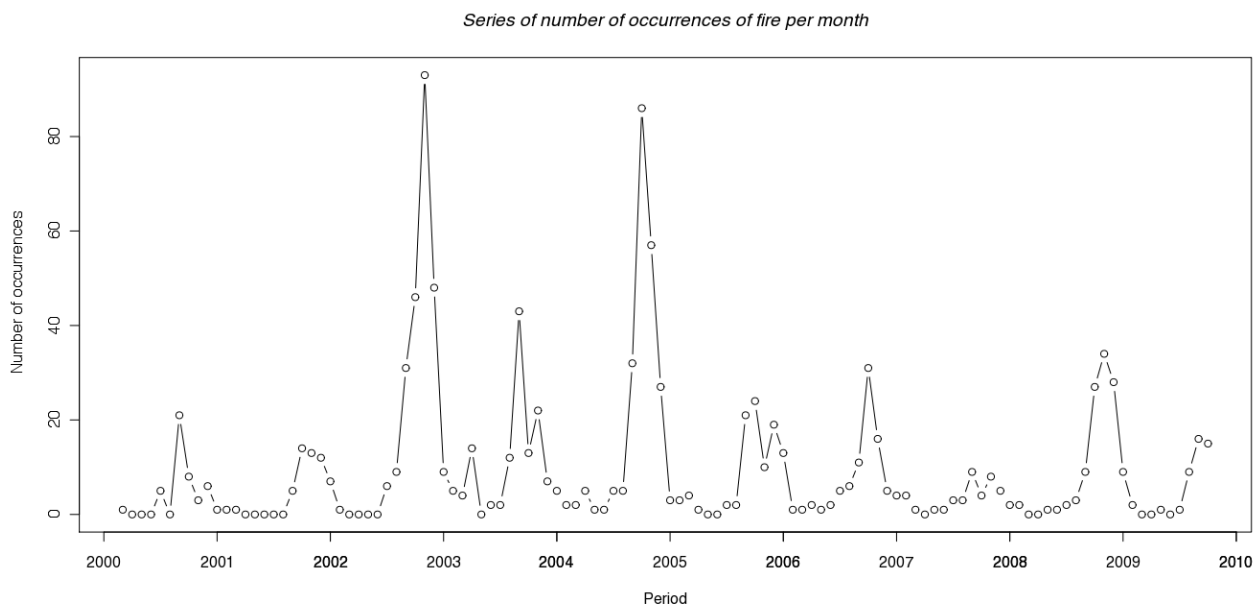
## II.5 Saisonnalité

La saisonnalité du feu étudie la répartition des feux dans le temps. Ici, nous allons voir la répartition des feux sous forme de série temporelle sur la période d'étude 2000-2009. Puis, nous verrons la répartition statistique par mois de l'année, et par jour de la semaine.

### II.5.a Séries temporelles

La répartition en série temporelle donne l'évolution sur la période 2000-2009 du nombre d'occurrences des feux, de la surface brûlée et de l'intensité (représenté par le FRP) avec une donnée tous les mois.

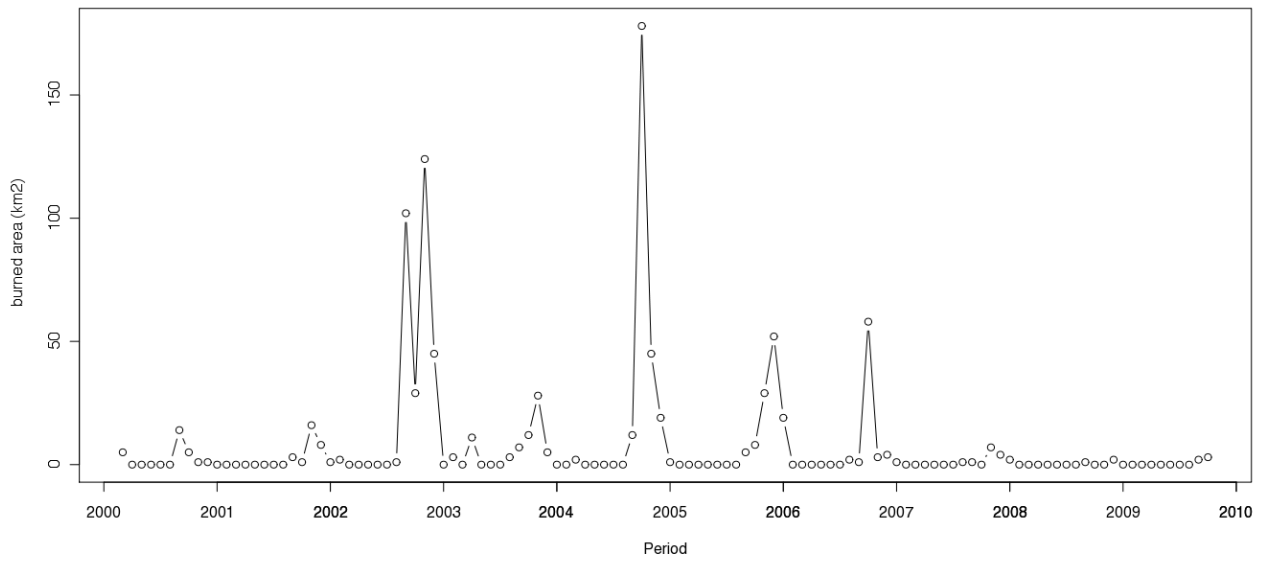
#### i) Nombre d'occurrences de départ de feux



#### ii) Surface brûlée

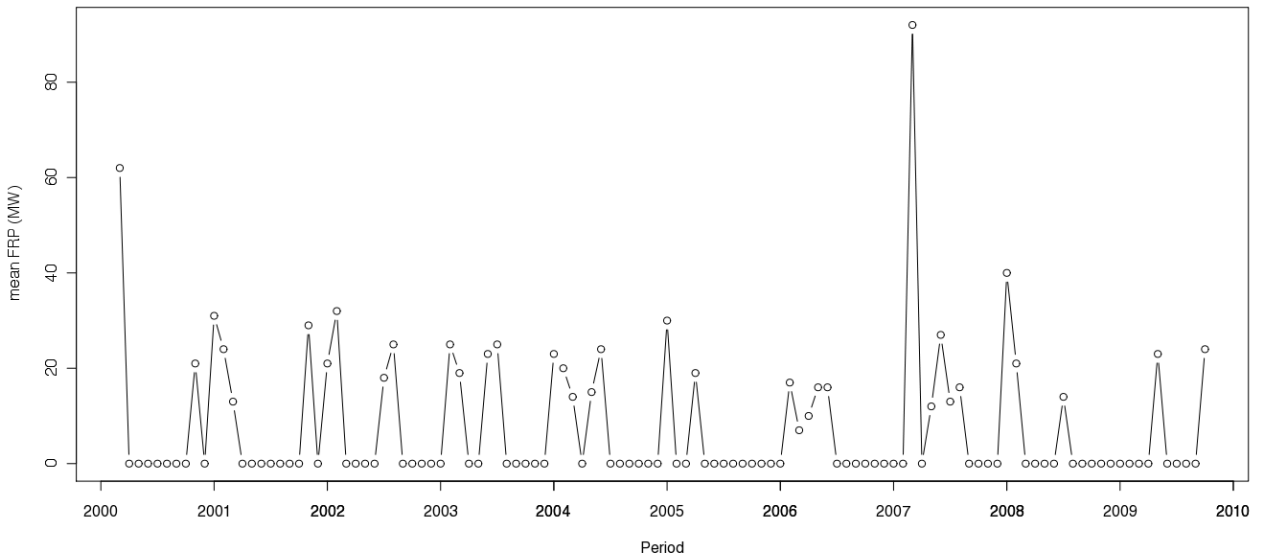


Series of burned area per month



**iii) Intensité des feux**

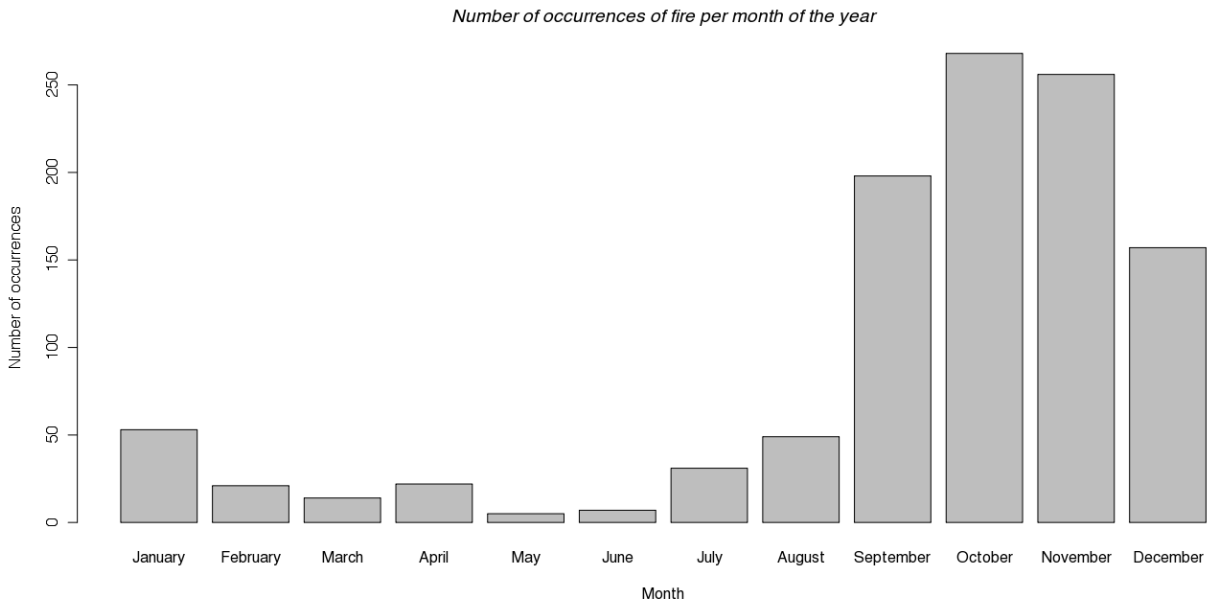
Series of mean intensity per month



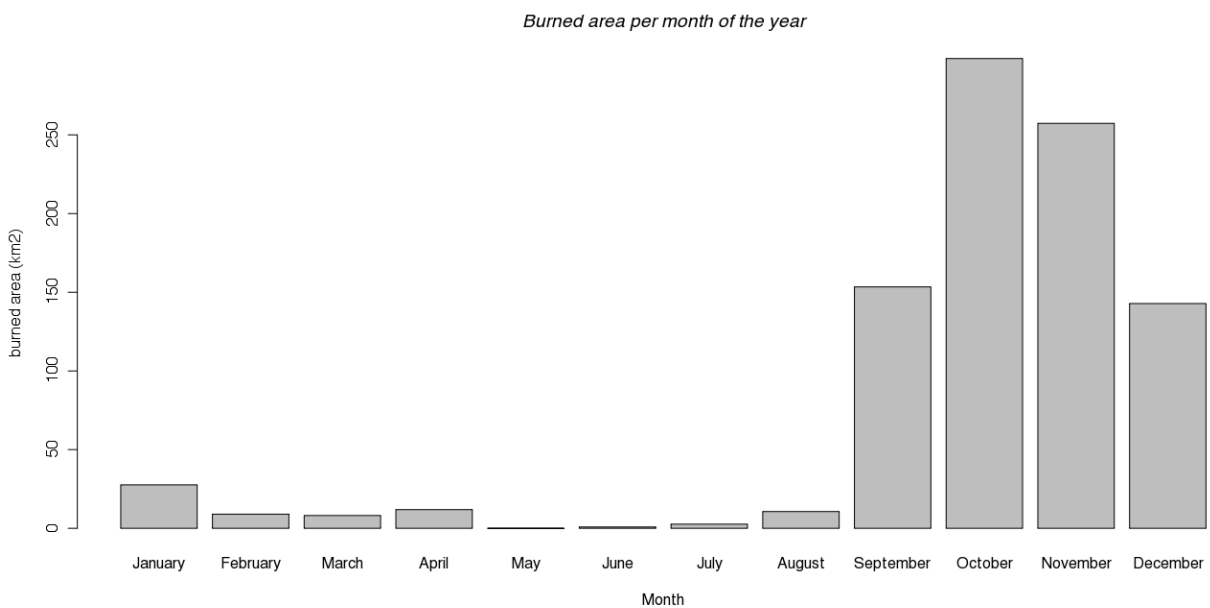
## II.5.b Répartition par mois de l'année

Dans cette partie sont présentés le nombre d'occurrences des feux, de la surface brûlée et de l'intensité (représenté par le FRP) qui sont intervenus durant les différents mois de l'année cumulés sur la période 2000-2009.

### i) Nombre d'occurrences de départ de feux

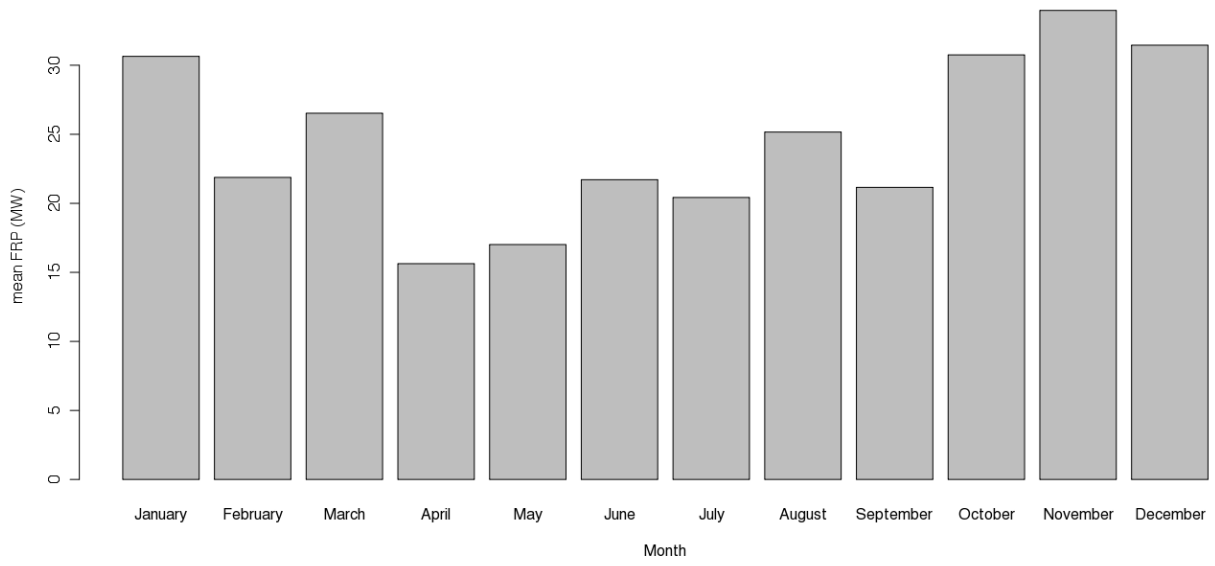


### ii) Surface brûlée



**iii) Intensité des feux**

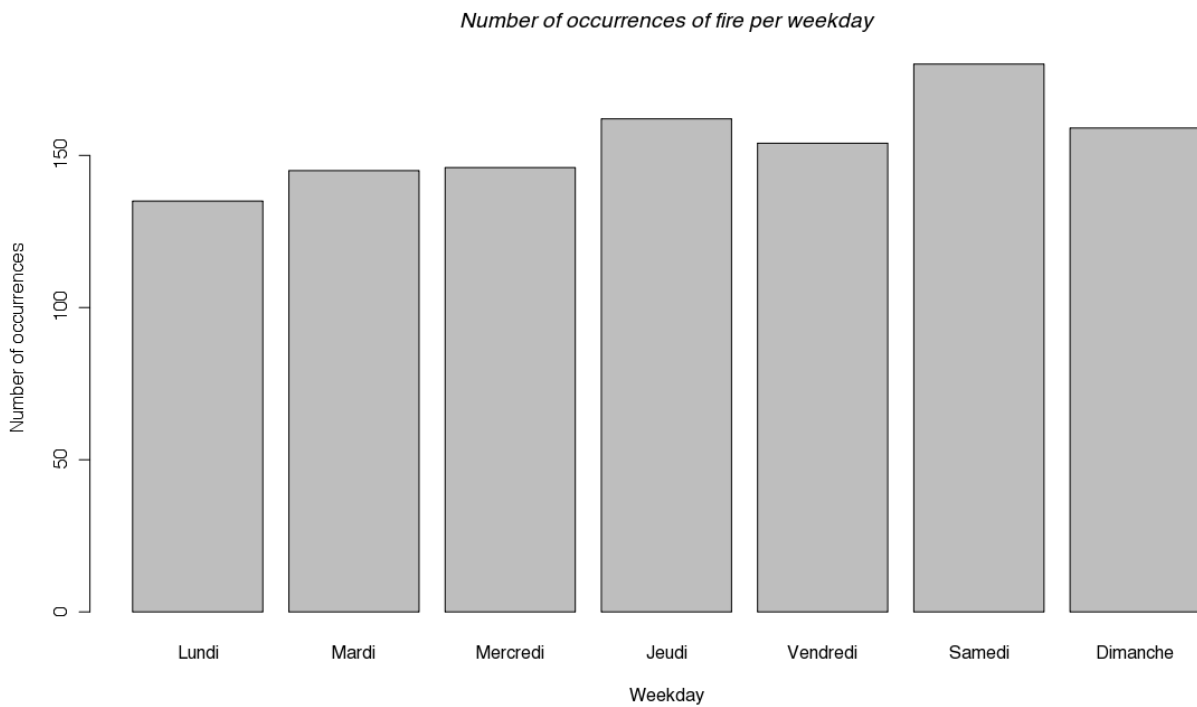
*Mean intensity per month of the year*



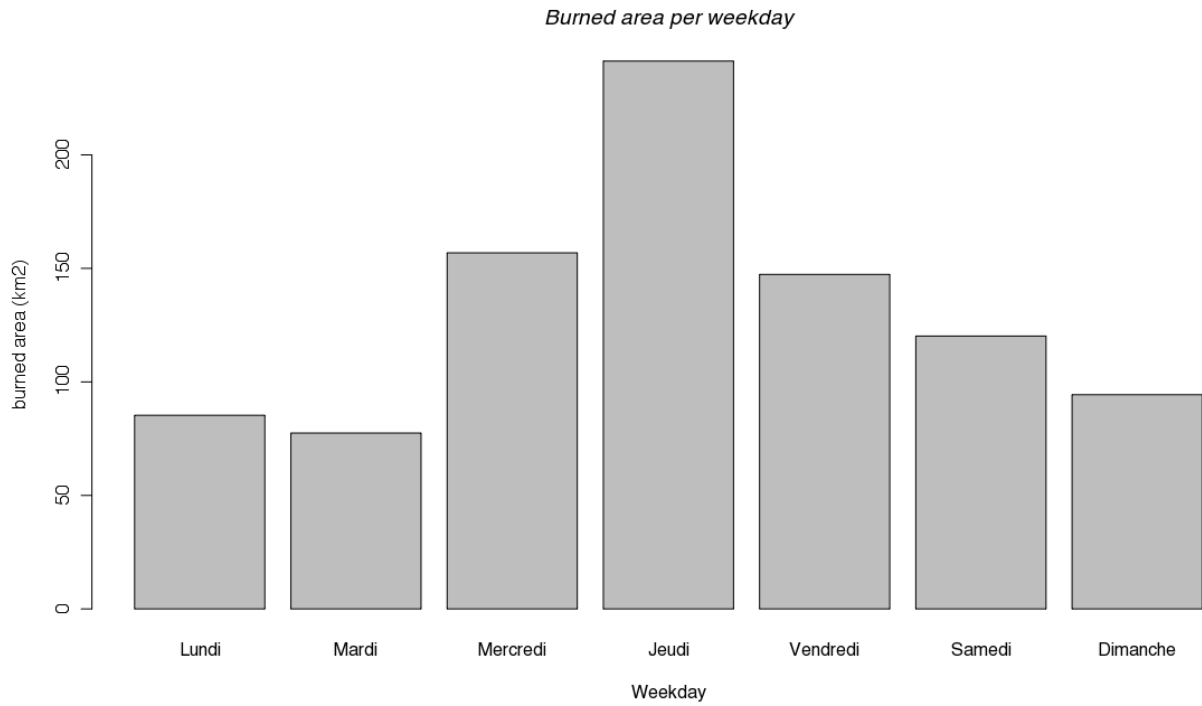
### **II.5.c Répartition par jour de la semaine**

Dans cette partie sont présentés le nombre d'occurrences des feux, de la surface brûlée et de l'intensité (représenté par le FRP) qui sont intervenus sur les jours de la semaine cumulés sur la période 2000-2009.

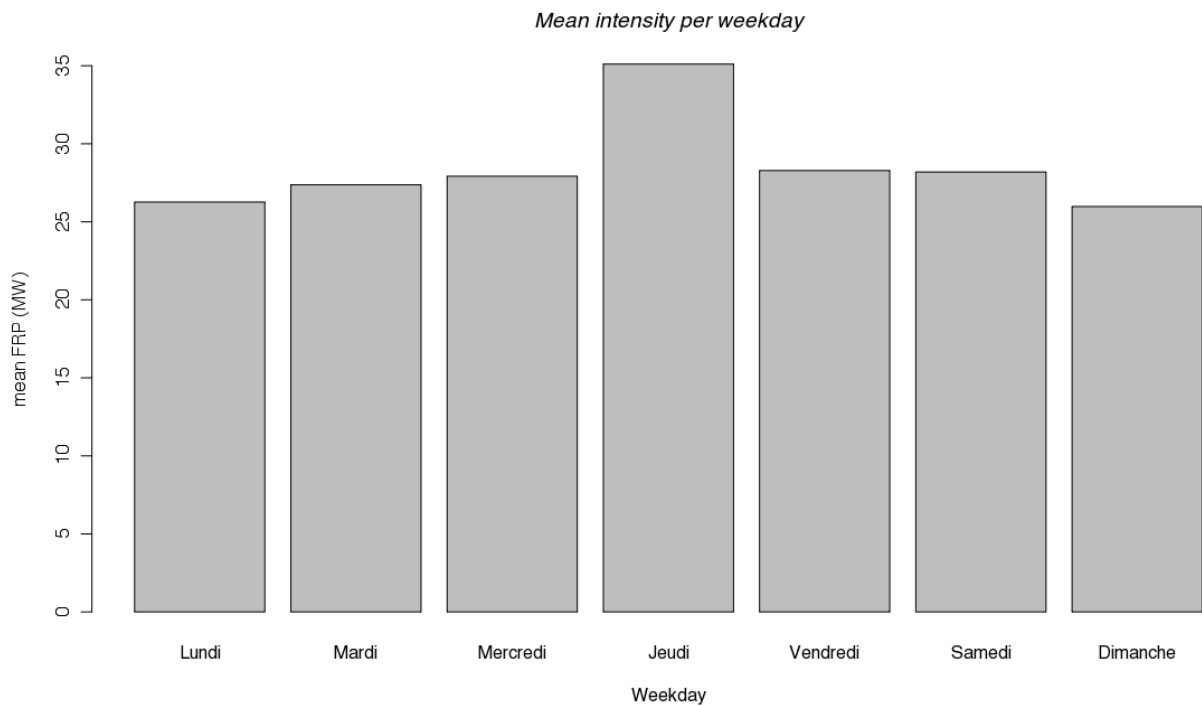
#### **i) Nombre d'occurrences de départ de feux**



#### **ii) Surface brûlée**



**iii) Intensité des feux**



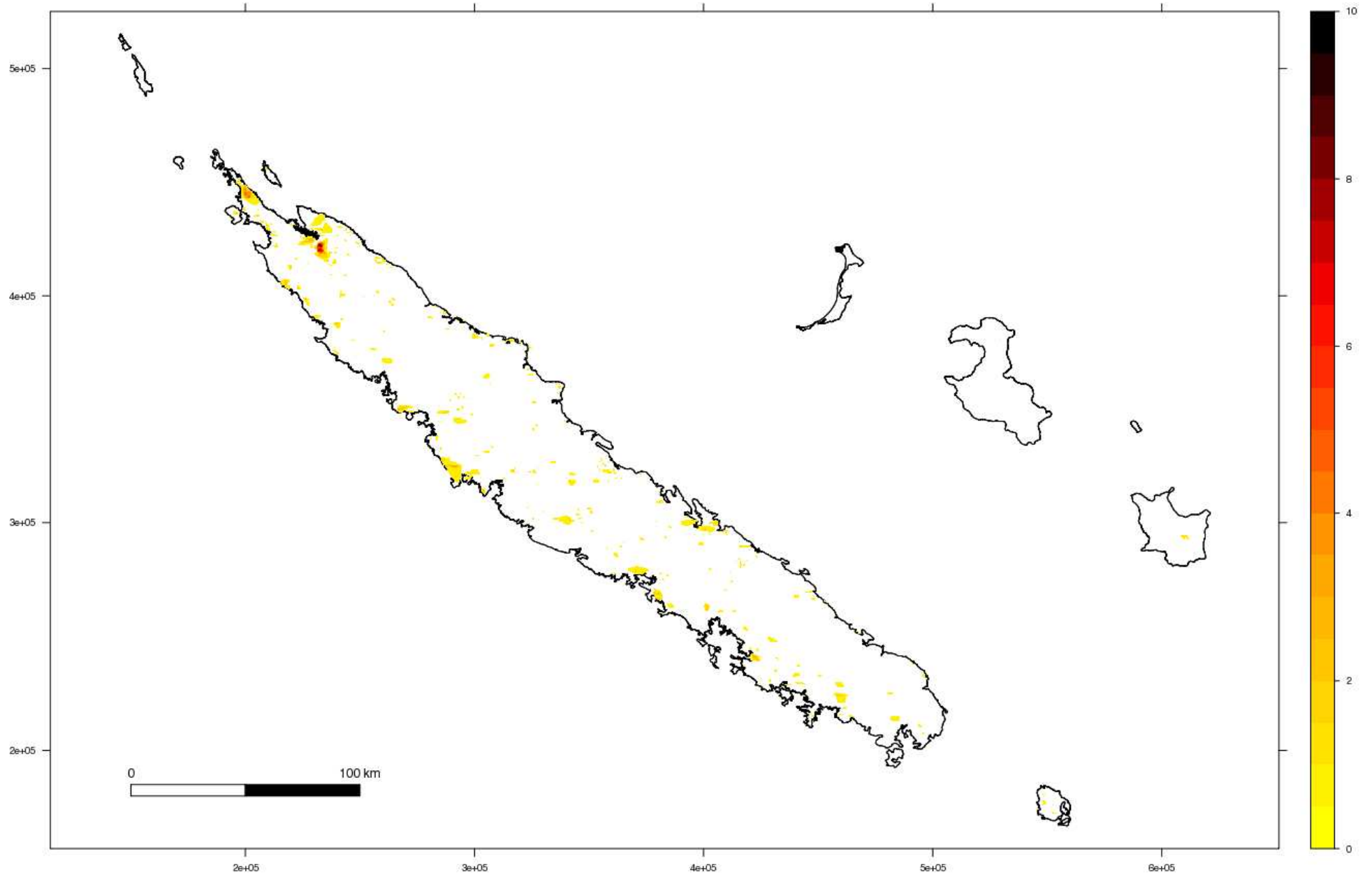
## **II.6 Retour du feu**

### ***II.6.a Surfaces associées***

L'étude de la fréquence de retour du feu exige une période d'étude de durée bien supérieure au temps moyen de retour du feu. Nous estimons qu'une période d'étude de vingt année est un minimum pour avoir des premiers résultats cohérents en ce qui concerne le retour du feu. De plus, la résolution spatiale est également très importante. En effet, il faut pouvoir dire si il y a bien eu du feu à plusieurs reprise sur un endroit donné. Avec une résolution de 1km sur la Nouvelle-Calédonie, lorsque qu'un même pixel est détecté comme contenant de la surface brûlé à deux dates différentes, il n'y a rien de moins sûr que ce soit pas deux parties bien distinctes du même pixel qui aient brûlé.

Nous présentons tout de même une carte de retour du feu sur la période 2000-2009.

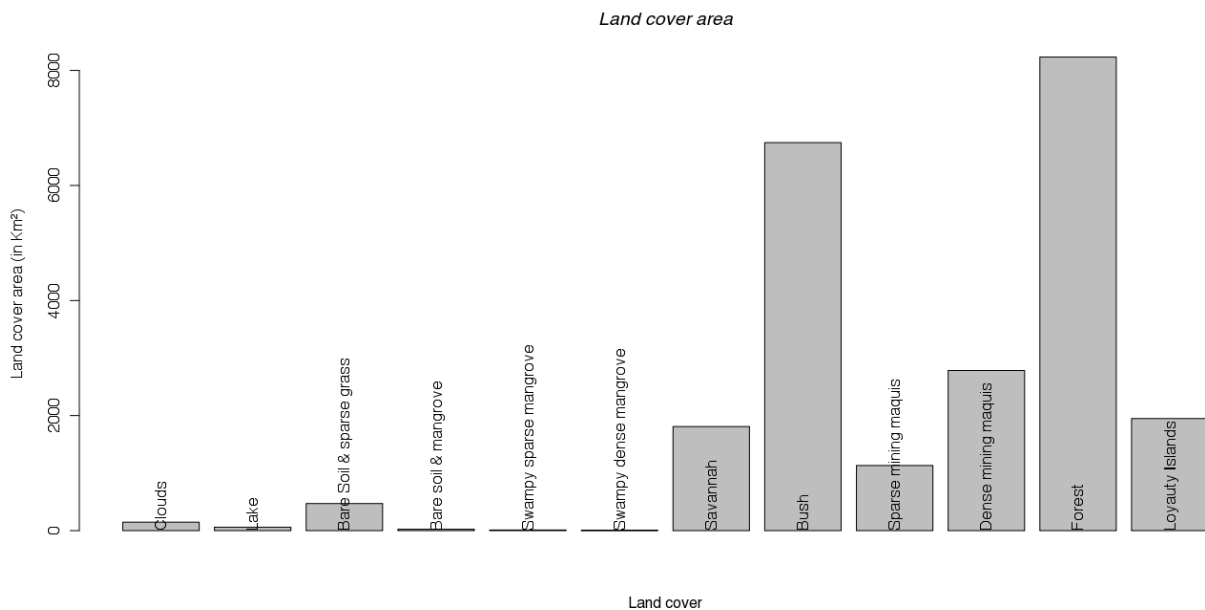
Fire return in New-Caledonia over the period 2000-2009



Resolution 500m x 500m. The pixel color denotes the number of Fires detected on each pixel

## II.7 Croisement avec l'occupation du sol

L'occupation du sol utilisée pour cette étude est celle qui a été réalisée en 1996 par la DTSI. Pour le croisement avec l'occupation du sol, il n'a pas été possible d'effectuer une intersection de polygone entre les feux et l'occupation du sol. C'est pour cette raison que les résultats présentés ci-après sont tous basés sur l'intersection entre des points et les polygones de l'occupation du sol. Nous présentons la répartition des MODIS Burned Area et Hot Spot par occupation du sol, la répartition globale, puis également la répartition des surfaces brûlées causées par les grands feux et enfin, le FRP.

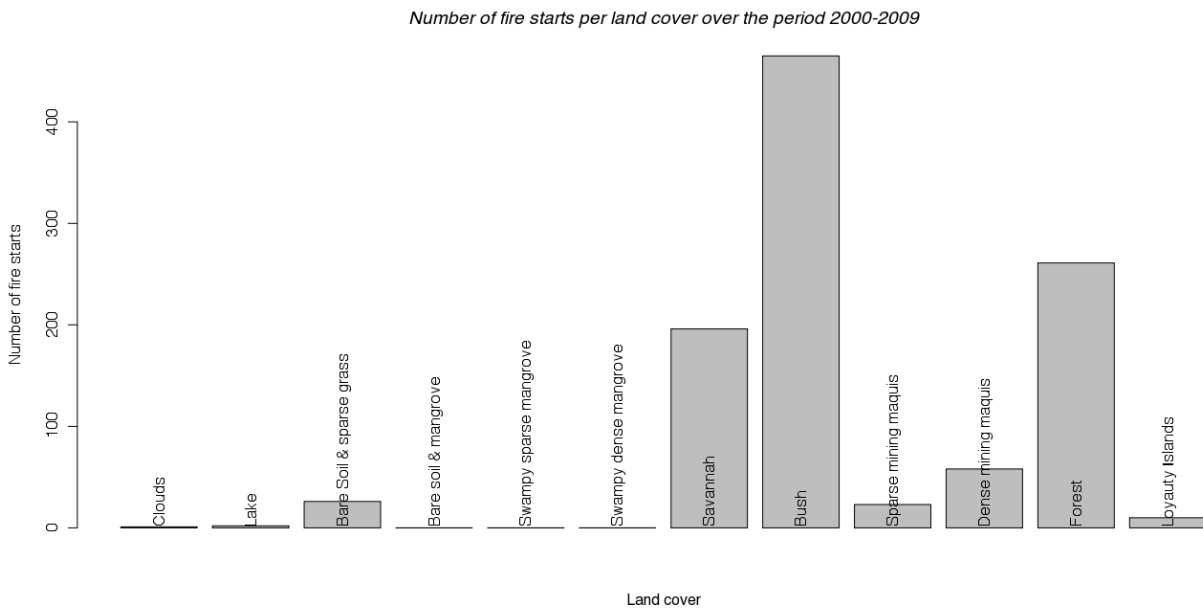


Avant d'effectuer toute analyse par rapport à l'occupation du sol, il est bon d'avoir une idée de la répartition globale des différentes classes sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Ci-dessous, le diagramme en barre présente la répartition en km<sup>2</sup> des différentes classes d'occupation du sol.



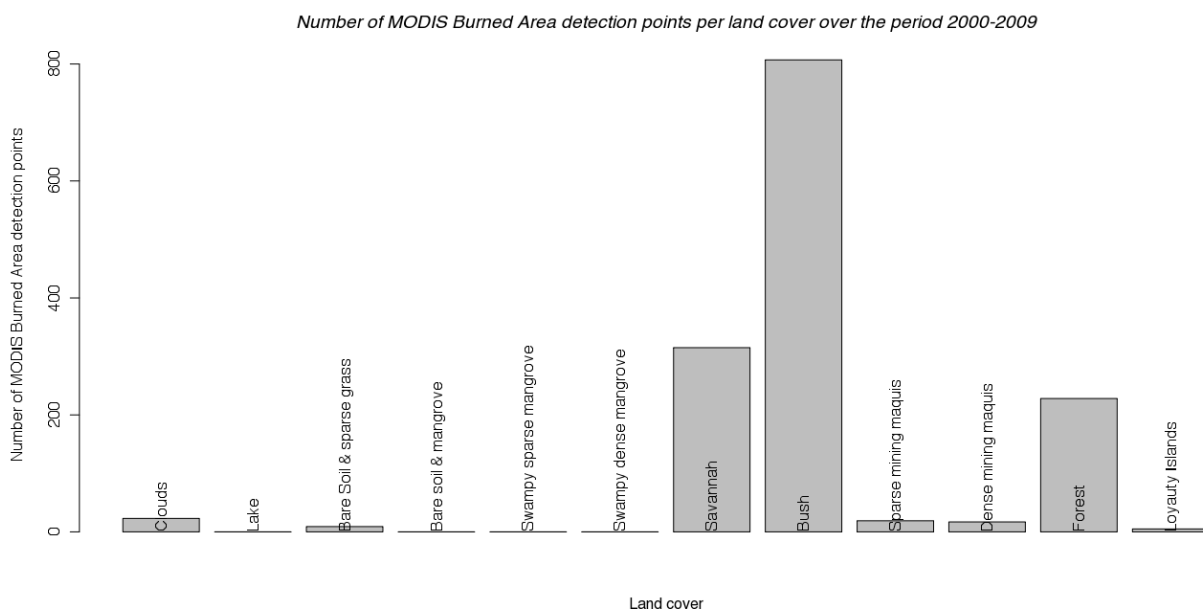
## II.7.a Les points de détection de feux par classe

Ci-dessous nous présentons la répartition des départs de feu par classe d'occupation du sol. Pour réaliser ce diagramme, chaque départ de feu a été symbolisé par son isobarycentre puis croisé avec l'occupation du sol. Ce qui fait que chaque départ de feu n'intervient que dans une classe.



On peut voir qu'il y a un léger déséquilibre depuis l'ensemble des classes vers les savanes et les broussailles par rapport à la répartition des classes sur le territoire. Cela signifie que les feux ont tendance à toucher plus ces deux classes que les autres en proportion.

Ci-dessous, la répartition des points de détection de MODIS Burned Area par classe d'occupation du

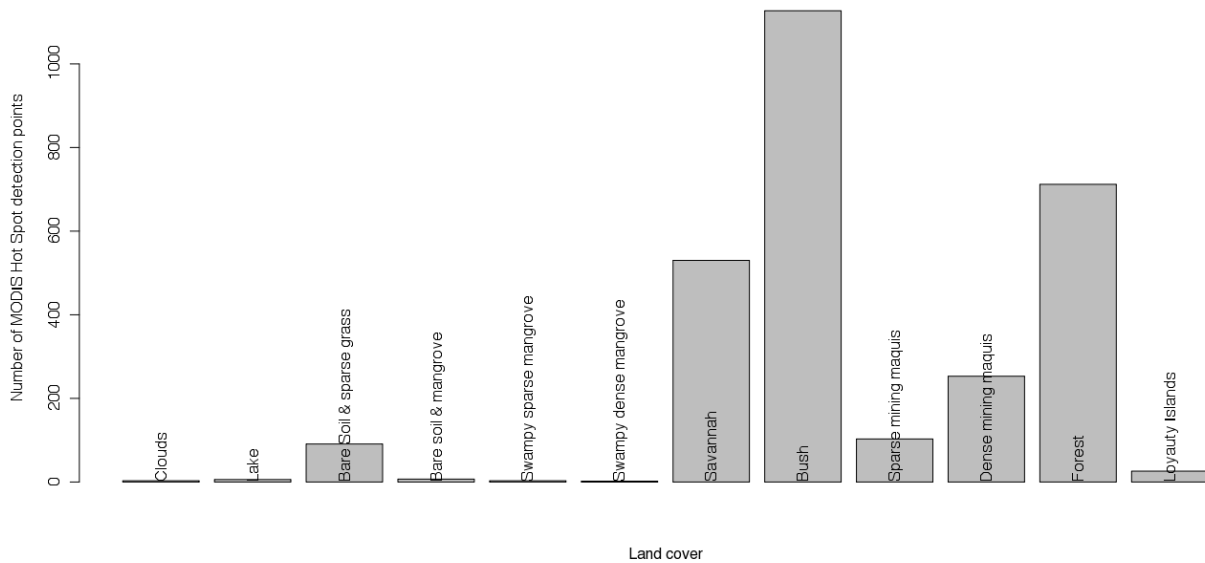


sol.

Ci-dessous, la répartition des points de détection de MODIS Burned Area par classe d'occupation du

sol.

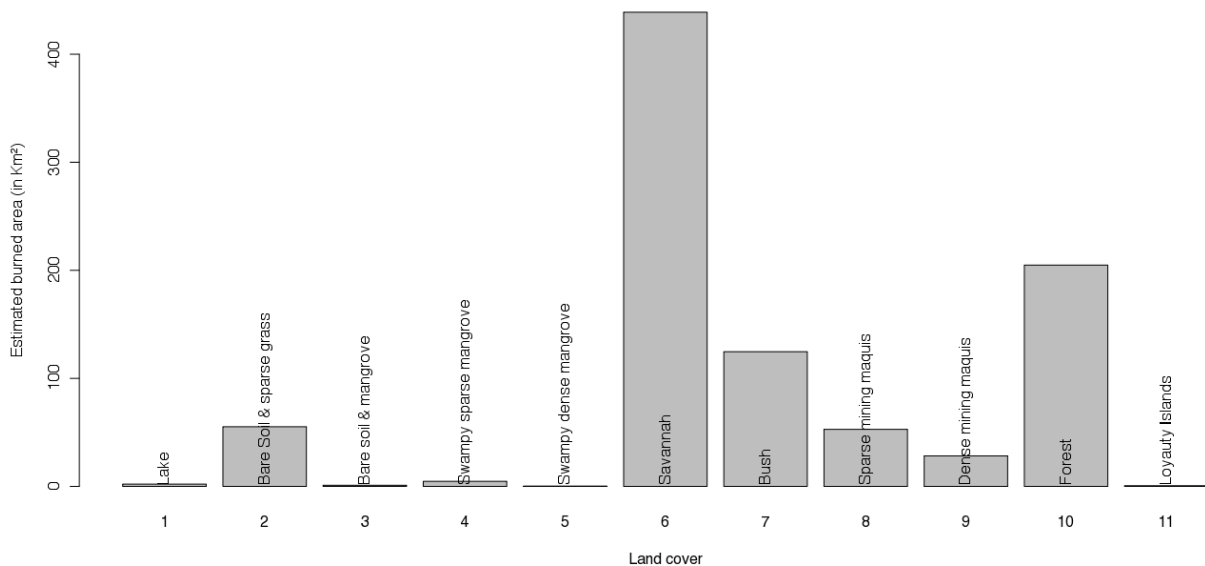
Number of MODIS Hot Spots detection points per land cover over the period 2000-2009



### II.7.b Les surfaces brûlées par classe

Les surfaces brûlées telles qu'elles ont été calculés ne sont réellement représentative que pour les feux à partir d'une certaine surface. C'est pourquoi les feux considérés dans le diagramme ci-après ne sont que ceux ayant une surface supérieur à 0,15 km<sup>2</sup>.

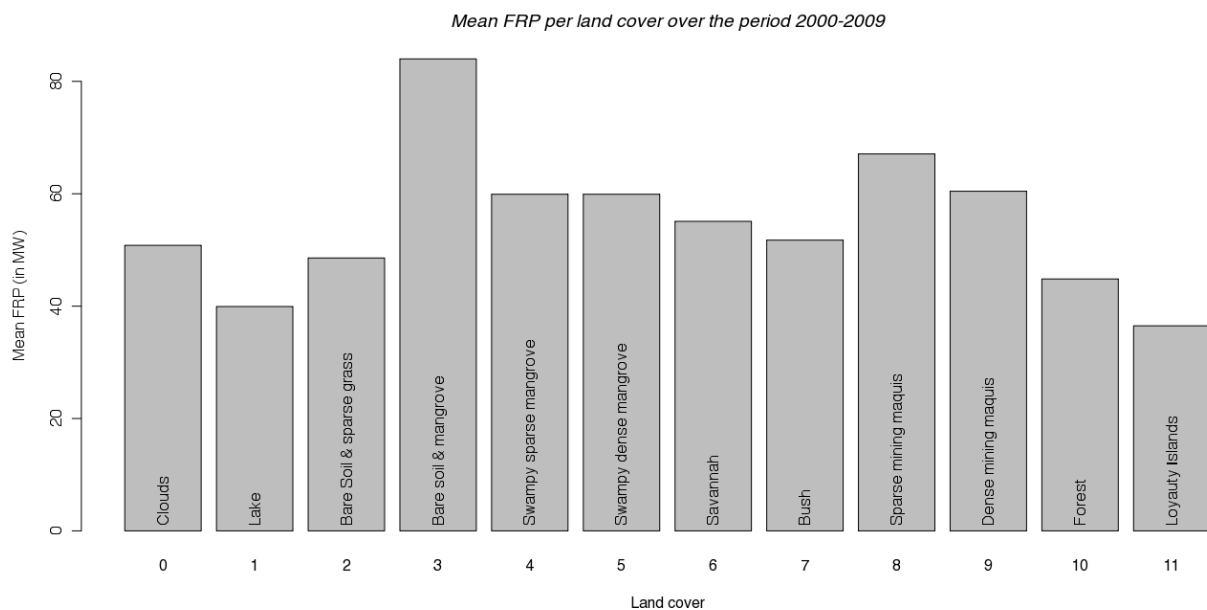
Estimated burned area caused by the largest fire (over 0,15 Km<sup>2</sup>) per land cover over the period 2000-2009



On peut voir qu'il y a un déséquilibre conséquent qui s'est opéré depuis la classe broussaille vers celle de la savane. Cela signifie que les feux à partir d'une certaine surface, sont bien plus présent et brûle une plus grande surface sur les savanes que sur n'importe quel type de sol.

### II.7.c La force de radiation du feux par classe

Ci-dessous la répartition moyenne du FRP par type d'occupation du sol.



### III Conclusion

L'évaluation du régime de feu à partir des moyens de télédétection et à l'aide des données de la sécurité civile permettra d'étudier le feu en Nouvelle-Calédonie d'une manière unique. Malgré le manque de précision des données utilisées, celle-ci auront permis de dégager des caractéristiques importantes des feux qui sévissent sur le territoire.

### IV Références

R. Craig, B. Heath, N. Raisbeck-Brown, M. Steber, J. Marsden, and R. Smith. 2002. The distribution, extent and seasonality of large fires in Australia, April 1998-March 2000, as mapped from NOAA-AVHRR imagery. In: *Australian Fire Regimes: Contemporary Patterns (April 1998-March 2000) and Changes since European Settlement*, Russell-Smith, J., Craig, R. Gill, A.M., Smith, R. and Williams, J. (eds). Australia State of the Environment Second Technical Paper Series (Biodiversity), Department of the Environment and Heritage, Canberra.

I. Csiszar, T. Loboda, N. H. F. French, L. Giglio, and T. L. Hockenberry. 2005. A Multi-Sensor Approach To Fine-Scale Fire Characterization. Presented at the International Symposium on Remote Sensing of the Environment.

C.O. Justice, L. Giglio, S. Korontzi, J. Owens, J. Morisette, D. Roy, D., J. Descloitres, S. Alleaume, F. Petitcolin, and Y. Kaufman. 2002. The MODIS fire products, *Remote Sens. Environ.*, vol. 83, pp. 244- 262.

Y.J. Kaufman, C.O. Justice, L. Flynn, J.D. Kendall, E.M. Prins, L. Giglio, D. Ward, W. Menzel, and A. Setzer. 1998. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS, *J. Geophys. Res.*, vol. 103, pp. 32215-32238.

M.J. Wooster. 2002. Small-scale experimental testing of fire radiative energy fro quantifying mass

combusted in natural vegetation fires, *Geophys. Res. Let.* vol. 29, doi:10.1029/2002GL015487.

M. J. Wooster, B. Zhukov and D. Oertel. 2003. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. *Remote Sens. Environ.* 86, pp. 83-107.