



Dynamique des brûlis dans les aires protégées du réseau SUN [Bénin, Burkina Faso, Niger et Sénégal]

Saison sèche 2007-2008: octobre 2007 – mars 2008

J-M. Grégoire et D. Simonetti



The mission of the Institute for Environment and Sustainability is to provide scientific-technical support to the European Union's Policies for the protection and sustainable development of the European and global environment.

European Commission
Joint Research Centre
Institute for Environment and Sustainability

Contact information

Address: J-M. Grégoire, Global Environment Monitoring Unit, TP. 440, Via Fermi 2749, Ispra (VA), I-21027
E-mail: jean-marie.gregoire@jrc.it
Tel.: +39 0332 789215
Fax: +39 0332 789960

<http://ies.jrc.ec.europa.eu/>
<http://www.jrc.ec.europa.eu/>

Legal Notice

Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

***Europe Direct is a service to help you find answers
to your questions about the European Union***

**Freephone number (*):
00 800 6 7 8 9 10 11**

(*). Certain mobile telephone operators do not allow access to 00 800 numbers or these calls may be billed.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet. It can be accessed through the Europa server <http://europa.eu/>

JRC 48829

EUR 23685 FR

ISSN 1018-5593

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

© European Communities, 2008

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

Dynamique des brûlis dans les aires protégées du réseau SUN
[Bénin, Burkina Faso, Niger et Sénégal]

Saison sèche 2007-2008 : octobre 2007 – mars 2008

Document préparé par
Jean-Marie Grégoire et Dario Simonetti

Contributions de
Désirée Johansson, Andrea Marelli et Mihkel Punga

Sommaire

Résumé.....	5
Observations et conclusions essentielles.....	8
1. Le réseau SUN.....	11
1.1. Objectifs et sites d'observation du réseau	
1.2. Le réseau SUN dans le contexte africain	
2. Méthodes de suivi des brûlis dans les aires protégées du réseau SUN.....	14
2.1. Inventaire des épisodes de feu	
<i>Système d'observation</i>	
<i>Elaboration des données de télédétection</i>	
2.2. Cartographie des surfaces parcourues par les feux	
2.3. Dynamique des brûlis: indicateur d'état de l'habitat naturel	
3. Brûlis 2007-2008 dans la forêt classée de Boulon – Burkina Faso.....	19
3.1. Saisonnalité de l'activité des feux	
<i>Occurrences de feu</i>	
<i>Surfaces parcourues par les feux</i>	
3.2. Distribution spatiale des feux	
4. Brûlis 2007-2008 dans le ranch de Nazinga – Burkina Faso.....	23
4.1. Saisonnalité de l'activité des feux	
<i>Occurrences de feu</i>	
<i>Surfaces parcourues par les feux</i>	
4.2. Distribution spatiale des feux	
5. Brûlis 2007-2008 dans le parc transfrontalier du W.....	27
5.1. Saisonnalité de l'activité des feux	
<i>Occurrences de feu</i>	
<i>Surfaces parcourues par les feux</i>	
5.2. Distribution spatiale des feux	
6. Brûlis 2007-2008 dans la forêt classée de Patako - Sénégal.....	33
Saisonnalité de l'activité des feux	
<i>Occurrences de feu</i>	
<i>Surfaces parcourues par les feux</i>	
7. Les sites du réseau SUN dans l'espace soudanien.....	35
<i>Saisonnalité et densité des feux</i>	
<i>Indice de Spécificité</i>	
8. Perspectives pour le suivi des brûlis dans les aires protégées d'Afrique	38
<i>Bulletin d'information sur les feux dans les aires protégées</i>	
<i>Portail WEB d'accès aux bulletins de feu</i>	
Références bibliographiques citées dans le texte.....	41

Résumé

Le CCR a effectué un suivi systématique des feux dans les 5 aires protégées du réseau SUN [forêts classées de Patako et de Boulon, respectivement au Sénégal et au Burkina Faso ; parcs nationaux du W-du-Bénin, W-du-Burkina et W-du-Niger] pendant la saison sèche 2007-2008, sur la base d'images à moyenne résolution acquises par le capteur MODIS installé à bord des satellites Terra et Aqua. L'élaboration de ces données a permis i) l'inventaire hebdomadaire des épisodes de feu ; ii) la cartographie des surfaces brûlées, en moyenne deux fois par mois ; iii) l'établissement d'un Bulletin Hebdomadaire d'Information sur les feux, à destination des membres du réseau et des équipes de gestion des aires protégées concernées. Par ailleurs il est montré comment le rapport entre la densité des feux [nombre de feux / 1000 ha] à l'extérieur et à l'intérieur d'une aire protégée constitue un bon indicateur de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant, en termes de disponibilité et d'agencement spatial du combustible. C'est une indication i) de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire; ii) de son degré d'isolement; iii) de son niveau de protection. Dénommé *Indice de Spécificité* dans ce document, ce rapport constitue un bon outil de suivi et de comparaison des aires protégées. Il a été utilisé pour comparer les situations observées dans les aires du réseau SUN avec celles prévalant dans les 33 autres parcs nationaux du domaine *soudanien* d'Afrique sub-saharienne.

Tableaux

Tableau 1. Les institutions partenaires du projet SUN

Tableau 2. Sites d'observation du réseau SUN et ranch de Nazinga

Tableau 3. Aires protégées faisant l'objet d'un suivi systématique des feux

Tableau 4. Systèmes d'observation Terra-Aqua / MODIS

Tableau 5. Dates d'acquisition des images MODIS exploitées pour cartographier les surfaces parcourues par les feux dans les sites d'observations du réseau SUN durant la saison sèche 2007-08

Tableau 6. Contribution des 4 types de brûlis pour la saison 2007-2008 au sein du parc du W

Tableau 7. Evolution de l'Indice de Spécificité dans le parc du W de 2004 à 2008

Figures

Figure 1. Sites d'observation du réseau SUN et autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest

Figure 2. 18 aires protégées d'Afrique sub-saharienne faisant l'objet d'un suivi des feux

Figure 3. Localisation des épisodes de feu détectés dans et à la périphérie de la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) entre le 17 et le 23 décembre 2007

Figure 4. Estimation des surfaces brûlées. Exemple de la forêt de Boulon. En haut: Image MODIS du 11/12/2007. Surfaces parcourues par les feux : en mauve. En bas: Résultat de classification. Surfaces brûlées cumulées au 11/12/2007

Figure 5. Surfaces parcourues par les feux (en mauve) dans les aires protégées du complexe du WAP et à sa périphérie au début de la saison de brûlis 2006-2007 (image MODIS - 12 nov. 2006)

Figure 6. Comparaison du nombre de détections de feu par semaine dans le parc du W et dans une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 7. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 8. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha détectés dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Evolution hebdomadaire de l'indice de spécificité : rapport de la densité dans la forêt et dans sa zone périphérique des 25 km

Figure 9. Surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution

Figure 10. Cumul des surfaces parcourues par les feux pendant la saison sèche 2007-2008 dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et la zone périphérique des 25 km

Figure 11. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 12. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha (densité des feux) détectés dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Evolution hebdomadaire de l'indice de spécificité : rapport de la densité dans le ranch et dans sa zone périphérique des 25 km

Figure 13. Surfaces parcourues par les feux dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution

Figure 14. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et la zone périphérique des 25 km, pendant la saison sèche 2007-2008

Figure 15. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans le parc du W [Bénin, Burkina Faso et Niger] et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 16. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans les 3 composantes du parc du W [W du Bénin, W du Burkina Faso et W du Niger] durant la saison sèche 2007-2008

Figure 17. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha [densité des feux] et évolution hebdomadaire de l'indice de spécificité dans le parc transfrontalier du W et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 18. Surfaces parcourues par les feux dans le parc transfrontalier du W (Bénin, Burkina Faso et Niger) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution

Figure 19. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans le parc transfrontalier du W pendant la saison sèche 2007-2008 (haut) et 2006-2007 (bas)

Figure 20. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans la forêt classée de Patako (Sénégal) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008

Figure 21. Surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Patako (Sénégal) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution

Figure 22. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Patako (Sénégal), et la zone périphérique des 25 km, pendant la saison sèche 2007-2008

Figure 23. Densité des feux dans les sites SUN durant la saison sèche 2007-2008. Comparaison avec la densité moyenne dans les parcs soudaniens (30 parcs) de 2004 à 2007

Figure 24. Indice de Spécificité des sites SUN et de quelques aires protégées d'Afrique de l'Ouest et Centrale pendant la saison sèche 2007-2008 : octobre 2007 à avril 2008

Figure 25. Indice de Spécificité des 30 parcs nationaux soudaniens durant les 3 saisons sèches 2004-05, 2005-06 et 2006-07. Les 3 composantes du parc du W sont indiquées en rouge

Figure 26. Bulletins hebdomadaires de suivi des feux dans les aires protégées d'Afrique subsaharienne : avec (haut) ou sans (bas) estimation des surfaces brûlées

Observations et conclusions essentielles

Le feu dans les aires protégées d'Afrique sub-saharienne

- Les 390 parcs nationaux et réserves d'Afrique sub-saharienne occupent une superficie de l'ordre de 142,358,031 ha, dont 59 % [83,498,569 ha] présentent une probabilité élevée à très élevée de présence de feux en saison sèche, 24 % [33,791,210 ha] une probabilité moyenne et 17 % [25,068,252 ha] une probabilité faible à très faible. La problématique du feu est donc au cœur de toute analyse visant à mieux comprendre le fonctionnement des aires protégées d'Afrique sub-saharienne et à en améliorer la gestion (Mbow et al., 2000 ; Bond and Archibald, 2003 ; van Wilgen et al., 2003 ; Sawadogo et al., 2005). Que ce soit dans les espaces de savane, pour lesquels le feu est un élément structurant du milieu, ou dans les espaces forestiers, pour lesquelles le feu est le plus souvent un élément destructeur.

- Les cinq sites d'observation du projet SUN [forêts classées de Patako au Sénégal et de Boulon au Burkina Faso; parcs nationaux du W-du-Bénin, du W-du-Burkina et du W-du-Niger] font parties des aires protégées de la 1^{ère} catégorie pour lesquelles la probabilité de feu en saison sèche est élevée à très élevée. La caractérisation des brûlis y est donc un aspect essentiel dans la compréhension des dynamiques du couvert végétal et des facteurs qui les déterminent au niveau local. Compréhension qui constitue un des objectifs prioritaires du projet SUN.

Les aires protégées du réseau SUN

- Le parc régional transfrontalier du W comprend les trois parcs nationaux du W-du Bénin, W-du-Burkina et W-du-Niger. Il appartient, avec les réserves totales de faune de l'Arly et de Singou au Burkina Faso, le parc national de la Boucle de la Pendjari au Bénin et les réserves partielles de Kourtiagou et de Pama au Burkina Faso, au complexe écologique du WAP qui couvre une superficie de l'ordre de 30,000 km². Le parc du W a la particularité de se trouver dans la zone de transition écologique entre les domaines soudanien et sahélien (Dulieu, 2004) et de subir une très forte pression anthropique à sa périphérie, en particulier dans la zone dite du « front cotonier ». Ceci fait du parc du W un élément unique pour la conservation des écosystèmes de savane en Afrique de l'Ouest. Il est classé, depuis novembre 2002, réserve transfrontalière de la biosphère.

- La forêt classée de Patako, au Sénégal, appartient à la région administrative de Fatick. Proche de la frontière avec la Gambie, elle occupe une superficie de l'ordre de 6043 ha, à la limite des domaines *soudanien* et *guineo-congolien/soudanien*.

- La forêt classée de Boulon, au Burkina Faso, se trouve dans la province de la Comoé, au SW du pays dans la région frontalière avec la Côte d'Ivoire. Elle occupe une superficie de 13523 ha dans le domaine *soudanien*.

- Le ranch de Nazinga, également au Burkina Faso, en limite du Ghana, occupe une superficie de 120638 ha au cœur de l'espace *soudanien*, à cheval sur les provinces de Nahouri et de Sissili.

L'observation spatiale appliquée au suivi des brûlis sur les sites du réseau SUN

- Le CCR a effectué un suivi systématique des feux durant la saison sèche 2007-2008 [1 octobre 2007 - 31 mars 2008], sur la base d'images à moyenne résolution [250 m] acquises par le capteur MODIS embarqué sur les satellites Terra et Aqua.

- L'élaboration de ces données a permis i) l'inventaire hebdomadaire des épisodes de feu dans les cinq sites SUN et leur zone périphérique de 25 km, ii) la cartographie des surfaces parcourues par les feux, en moyenne deux fois par mois, iii) l'établissement d'un Bulletin Hebdomadaire d'Information sur les feux dans les sites du réseau SUN, à destination des membres du réseau et des équipes de gestion des aires protégées concernées.

- Développement de l'*Indice de Spécificité* : le rapport entre la densité des feux [nombre de feux / 1000 ha] à l'intérieur et à l'extérieur d'une aire protégée constitue un bon indicateur de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant, en termes de

disponibilité et d'agencement spatial du combustible et par conséquent de couvert végétal. Ce rapport est un indicateur i) de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire, ii) de son degré d'isolement, iii) de son niveau de protection. Dénommé *Indice de Spécificité* dans ce document, ce rapport constitue un bon outil de suivi et de comparaison des aires protégées. Il a été utilisé pour comparer les situations observées dans les aires du réseau SUN avec celles prévalant dans les 33 autres parcs nationaux du domaine *soudanien* d'Afrique sub-saharienne.

La Saisonnalité des brûlis dans les aires protégées du réseau SUN

La forêt classée de Boulon, le ranch de Nazinga et les 3 composantes du parc du W ont 3 caractéristiques en commun :

- les brûlis sont majoritairement de type « précoce » à « très précoce ». En ce qui concerne la forêt de Boulon, le pic d'activité des feux s'observe mi-décembre et, dès la fin décembre, 85% de la surface occupée par la forêt a été parcourue par les feux. A Nazinga, le pic s'observe durant la 2^{ème} semaine de novembre et 77% de la superficie de l'aire a été parcourue par les feux à la mi-décembre. Dans le parc du W, le pic s'observe mi-novembre ; à la fin décembre, 87% du total saisonnier des surfaces parcourues par les feux est déjà atteint. Les mêmes résultats avaient été obtenus durant le suivi des saisons 2004-05, 2005-06 et 2006-07 sur le parc du W: pour chacune de ces 3 saisons de brûlis, 75% ou plus du total des feux de la saison était atteint dès le mois de décembre.

- la saisonnalité des brûlis dans les sites SUN ne diffère pratiquement pas de celle observée à leur périphérie (zone de 25 km). Ce qui laisserait penser qu'il n'y a pas de gestion particulière des feux dans ces aires protégées.

- en fin de saison, la quasi-totalité de la surface de ces aires protégées a été parcourue par les feux : au 30 mars 2008, 98 % pour Boulon, 88.4 % pour Nazinga et 89 % pour le parc du W. Les pourcentages baissent très fortement dans la zone périphérique de 25 km autour de ces aires : 70 %, 66.5 % et 26 %.

La forêt de Patako est un cas particulier puisque les 2/3 de la superficie de la forêt ont été brûlés en une seule fois à la mi-mai 2008. On ne peut donc parler de saisonnalité.

Les sites du réseau SUN dans l'espace soudanien

- La saisonnalité des brûlis des 5 sites SUN pour la saison 2007-08 a été comparée à la saisonnalité moyenne [calculée sur 3 saisons : 2004-05, 2005-06 et 2006-07] des trente parcs nationaux de l'espace soudanien d'Afrique sub-saharienne. Les résultats montrent que la saisonnalité dans les sites SUN ne diffère pratiquement pas de la saisonnalité moyenne des parcs du domaine soudanien.

- Les sites SUN se différencient plus en termes de nombre d'épisodes de feu par unité de surface : Nazinga, le W-du-Benin, le W-du-Burkina et Boulon ont une densité de feux supérieure à la moyenne soudanienne au moment du pic saisonnier ; tandis que le W-du-Niger est en dessous. Après le pic d'activité, la forêt de Boulon garde des valeurs de densité supérieures à la tendance moyenne tandis que les 4 autres sites SUN ont des densités systématiquement inférieures à la valeur moyenne.

- En ce qui concerne l'*Indice de Spécificité*, les sites SUN ont un indice généralement supérieur à celui des autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale. Pour le parc du W [pour lequel on dispose de 4 années de suivi des feux : 2004 à 2008], la tendance est à l'augmentation de la valeur de l'indice ; ce qui pourrait être un indicateur d'isolement croissant de ce parc.

Un bulletin d'information sur les feux dans les aires protégées

Les observations faites sur les brûlis sont regroupées dans un *bulletin hebdomadaire* qui comprend les éléments cartographiques [localisation de l'activité des feux au niveau local et régional], les éléments statistiques [évolution du nombre d'épisodes de feu, de la densité des feux et de l'Indice de Spécificité] et un bref commentaire de synthèse sur la situation de la semaine en cours. Les équipes scientifiques et techniques en charge de la surveillance et de la gestion des ressources en biodiversité ont ainsi accès à un ensemble d'informations très

synthétiques et mises à jour régulièrement, tant au niveau local [celui d'une aire protégée] que régional [contexte dans lequel s'intègre l'aire en question].

Un portail WEB d'accès aux bulletins de feu

- Le CCR a mis en place un portail d'accès aux bulletins hebdomadaires qui permet de télécharger le bulletin en format PDF ainsi que les fichiers de localisation des feux [en format shape] pour les utilisateurs qui voudraient les intégrer à un Système d'Information Géographique. Accessible à l'adresse [<http://bioval.jrc.ec.europa.eu>], le portail permet de choisir l'aire protégée, la saison de feu [depuis octobre 2007] et la semaine [d'octobre à mars pour les aires protégées de l'hémisphère Nord ; d'avril à septembre pour celle de l'hémisphère Sud].

- Au stade actuel [novembre 2008], le CCR effectue un suivi des brûlis sur 18 aires protégées d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Les fichiers hebdomadaires de localisation des feux sont disponibles depuis octobre 2007 pour ces 18 aires. Les bulletins hebdomadaires ne sont par contre établis que pour les sites du réseau SUN [forêts classées de Patako et de Boulon ; parc transfrontalier du W], le ranch de Nazinga et les parcs nationaux de Zakouma [Tchad], de la Garamba [RDC] et d'Upemba [RDC].

- L'objectif à moyen terme est de transférer cet ensemble d'outils de suivi des feux vers les utilisateurs en Afrique. Que ce soit les membres du réseau WARN, en ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest, ou plus largement les institutions à vocation régionale du réseau AMESD [le centre régional AGRHYMET, par exemple] qui ont exprimé un besoin en matière de suivi des feux.

1. Le réseau SUN (Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa)

1.1. Objectifs et sites d'observation du réseau

Financé par l'Union Européenne, sur un budget du 6^{ème} programme cadre (2002-2006), le projet SUN (<http://www.sunproject.dk/index.asp>) vise à améliorer la gestion durable des ressources issues de la végétation naturelle en milieu sahélien et soudanien d'Afrique de l'Ouest. Il s'articule autour de 10 composantes thématiques comprenant :

- des recherches appliquées visant tout particulièrement une meilleure gestion des ressources naturelles. L'objectif est d'améliorer la compréhension des dynamiques du couvert végétal et des facteurs qui les déterminent au niveau local et d'extrapoler ces résultats au niveau régional (Afrique de l'Ouest), en particulier à l'aide des techniques d'observation de la Terre. Des analyses socio-économiques tentent d'identifier les instruments économiques permettant de corriger les facteurs limitant d'une gestion durable des ressources.
- le développement d'outils d'aide à la prise de décision, pour les gestionnaires et les scientifiques, pour collecter les données scientifiques déjà disponibles et les mettre en libre accès via Internet. Ceci inclut une base de données sur la végétation, un inventaire des indicateurs d'utilisation durable des ressources et la mise en place d'un Système d'Information Géographique.
- la mise en place d'actions de gestion pratique et de réhabilitation dans des régions d'intérêt particulier.

Le suivi systématique des feux de brousse constitue une des activités retenues par SUN pour d'une part aider à la compréhension des dynamiques du couvert végétal et d'autre part contribuer au développement d'un indicateur d'utilisation durable des ressources.

Les travaux du projet SUN sont menés par neuf institutions de recherche/développement d'Afrique de l'Ouest et de l'Union Européenne (tableau 1).

Tableau 1. Les institutions partenaires du projet SUN	
Afrique de l'Ouest	Union Européenne
Bénin Université d'Abomey-Calavi (Cotonou)	Allemagne Université Johann Wolfgang Goethe (Francfort) Institut de recherche de Senckenberg (Francfort)
Burkina Faso Université de Ouagadougou Université de Bobo Dioulasso	Danemark Université d'Aarhus (coordinateur du projet SUN)
Niger Université Abdou Moumouni (Niamey)	Union Européenne Centre Commun de Recherche (Ispra)
Sénégal Université Cheikh Anta Diop (Dakar)	

Les sites d'observation du réseau

Les partenaires du projet ont sélectionné cinq sites pour le développement des activités de recherche et les essais pratiques sur le terrain (tableau 2 ; figure 1). Ils comportent deux forêts classées et trois parcs nationaux formant le parc transfrontalier du W. Bien que ne faisant pas partie du réseau SUN, le ranch de Nazinga a aussi fait l'objet d'un suivi systématique des feux durant la saison 2007-2008. Ce ranch a une longue tradition de gestion des feux et pourrait donc servir de référence dans le contexte régional (Lungren, 1997).

Tableau 2. Sites d'observation du réseau SUN et ranch de Nazinga

	classe IUCN	domaine	superficie (ha) ⁽¹⁾	
			aire	25 km ⁽²⁾
Forêt classée de Patako - Sénégal	non classé	guineo-cong./soudanien	6043	163620
Forêt classée de Boulon - Burkina F.	non classé	soudanien	13523	296109
Ranch de Nazinga - Burkina F.	non classé	soudanien	120638	373314
Parc du W du Bénin - Bénin	II	soudanien	576959	665324
Parc du W du Burkina - Burkina F.	II	soudanien	243836	189464
Parc du W du Niger - Niger	II	soudanien	220928	136389

(1) : UNEP-WCMC, 2005

(2) : la zone des 25 km ne peut inclure partie ou tout d'une autre aire protégée adjacente

Pour chaque site, le suivi a été effectué dans la zone couverte par l'aire protégée proprement dite et dans une zone tampon de 25 km de profondeur à la périphérie de l'aire. Le tracé des limites des différentes aires protégées est extrait soit de cartes au 1/200.000ème, soit de la base de données du PNUE (PNUE, 2005). Dans les deux cas, les tracés ne correspondent pas forcément aux limites actuelles de ces aires.

1.2. Le réseau SUN dans le contexte africain

Le suivi des feux effectué sur les sites du projet SUN contribue également aux activités du Réseau de Recherche Ouest Africain (West African Research Network – WARN) créé à Accra en novembre 2007, à l'initiative de pays de la sous-région (dont le Niger, le Mali, le Sénégal, le Ghana, le Burkina Faso), le programme *Observation Globale de la Dynamique des Forêts et du Mode d'Occupation des sols - Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics* (GOF-C-GOLD, 2007), le Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne et l'Organisation Météorologique Mondiale.

Un des groupes thématiques du réseau WARN, le groupe « Feux de brousse », s'est fixé comme objectif de contribuer à l'amélioration de l'utilisation contrôlée des feux en Afrique de l'Ouest. La priorité du groupe est de permettre l'accession, pour les gestionnaires environnementaux d'Afrique de l'Ouest, à des inventaires systématiques et réguliers de l'occurrence des feux. Pour ce faire, le réseau WARN a décidé d'exploiter l'approche de suivi des feux développée par le CCR et utilisée dans le cadre du projet SUN.

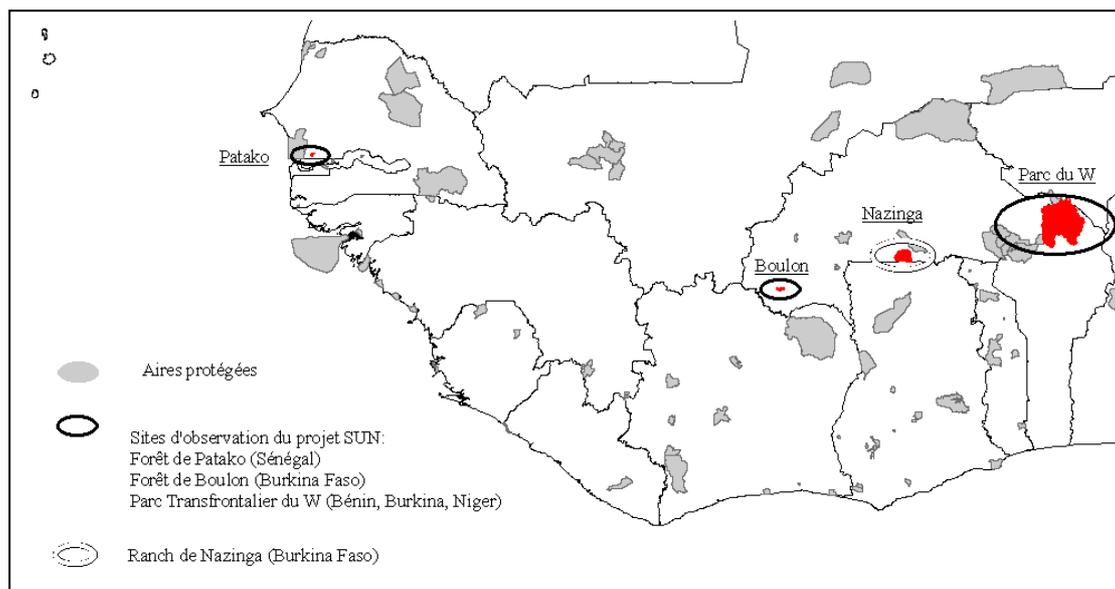


Figure 1. Sites d'observation du réseau SUN et autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest.

Par ailleurs, les cinq sites faisant l'objet d'un suivi dans le cadre de SUN s'inscrivent dans un contexte plus large que le CCR a mis en place pour l'évaluation de la qualité des aires

protégées d'Afrique (Hartley et al., 2007). En ce qui concerne l'activité des feux, cette évaluation concerne pour l'instant 18 aires protégées dans 9 pays d'Afrique sub-saharienne (tableau 3; figure 2).

Tableau 3. Aires protégées faisant l'objet d'un suivi systématique des feux				
	aire protégée	domaine	statut	superficie (ha)
Bénin	B. de la Pendjari	soudanien	parc national	282631
	W du Bénin	soudanien	parc national	576959
Burkina Faso	Arly	soudanien	rés. totale de faune	13523
	Boulon	soudanien	forêt classée	84790
	Deux Bales	soudanien	parc national	88481
	Nazinga	soudanien	forêt classée	88340
	W du Burkina	soudanien	parc national	243836
Congo R.D.	Bomu	guineo-congolien	rés. naturelle stricte	1067106
	Garamba	guineo-c./soudanien	parc national	497667
	Upemba	zambezien	parc national	1344073
Ethiopie	Bale Mountains	afromontane	parc national	156886
Ghana	Digya	guineo-c./soudanien	parc national	277141
Niger	W du Niger	soudanien (nord)	parc national	220928
Sénégal	Boundou	soudanien	réserve naturelle	125088
	Niokolo-Koba	soudanien (sud)	parc national	843355
	Patako	guineo-c./soudanien	forêt classée	6043
Sierra-Leone	Outamba-Kilimi	guineo-congolien	parc national	73137
Tchad	Zakouma	soudanien	parc national	304951

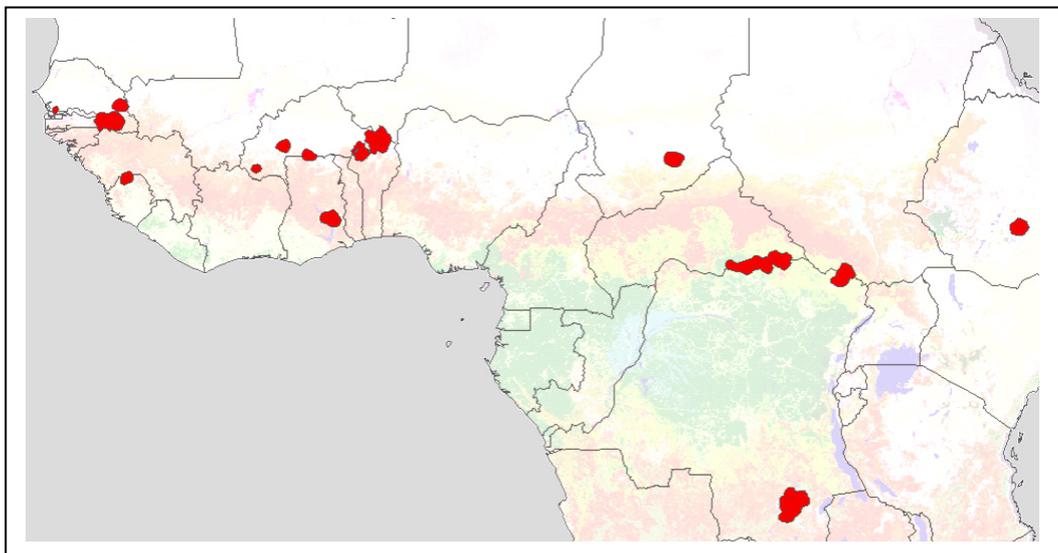


Figure 2. 18 aires protégées d'Afrique sub-saharienne faisant l'objet d'un suivi des feux.

2. Méthodes de suivi des brûlis dans les aires protégées du réseau SUN

Les informations requises, à savoir la localisation des épisodes de feu, la date et si possible l'heure approximative d'activité, la surface brûlée résultante et le type de formation végétale concernée, ne peuvent pas être collectées par un suivi au sol sur de vastes territoires. L'utilisation répétée et fréquente d'observations aériennes serait beaucoup trop onéreuse et présenterait de nombreuses limitations techniques. Seul un suivi satellitaire couplé à l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) permet de répondre aux besoins.

2.1. Inventaire des épisodes de feu

Système d'observation

Les feux dits "actifs", c'est à dire en activité au moment du passage du satellite, sont détectés par les systèmes d'observation TERRA et AQUA (<http://terra.nasa.gov/>). Ces deux satellites orbitaux sont équipés entre autre de l'instrument MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) qui est particulièrement bien adapté à la détection des feux actifs (Kaufman et al., 1998) (tableau 4).

Tableau 4. Systèmes d'observation Terra-Aqua / MODIS

	opérationnel depuis	acquisition	résolution spatiale du produit feu	
			feux actifs	surfaces brûlées ⁽¹⁾
Terra-MODIS	janvier 2000	10h30 et 22h30	1000 m	250 m
Aqua-MODIS	mai 2002	13h30 et 01h30	1000 m	250 m

(1) : produit surfaces brûlées du CCR

Chaque satellite a un temps de revisite de 12 h, c'est à dire qu'il observe le même point au sol deux fois par jour, à intervalle de 12 heures. Les deux satellites Terra et Aqua permettent ainsi d'effectuer 4 observations par 24 h: deux dans la journée et deux la nuit. Cette fréquence d'observations est encore insuffisante pour détecter tous les feux actifs en milieu de savane, la durée d'un épisode de feu pouvant être inférieur à deux heures. La seule alternative consisterait à exploiter l'imagerie fournie par les satellites géostationnaires, comme METEOSAT qui permet une observation toutes les 15 minutes, mais ce serait au détriment de la résolution spatiale: 3000 m à l'équateur pour l'imagerie fournie par l'instrument *Spinning Enhanced Visible and Infrared Image* (SEVIRI) de METEOSAT, contre 250 m pour l'instrument MODIS.

Elaboration des données de télédétection

Cette élaboration comporte trois étapes: la constitution d'une base de données des "anomalies thermiques" détectées mondialement, l'interrogation quotidienne de cette base de données pour en télécharger les observations relatives au continent africain et enfin la réalisation de synthèses hebdomadaires spécifiques aux aires protégées du réseau SUN.

L'Université du Maryland, en collaboration avec la NASA, a mis en place une procédure automatique d'élaboration des images MODIS pour détecter les "anomalies thermiques" à la surface du globe. Elles sont pour la plupart dues à la présence de feux de végétation. La méthode utilisée (Giglio et al., 2003) exploite la particularité qu'ont les feux d'émettre un rayonnement important dans le moyen infrarouge. Les résultats de détection sont disponibles pour téléchargement sur le site <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>.

Le CCR a pour sa part développé une procédure automatique d'interrogation de cette base de données qui permet, chaque jour, de télécharger du site de la NASA les coordonnées géographiques, la date et l'heure de détection des feux pour l'entièreté du continent africain. Des synthèses hebdomadaires sont ensuite effectuées par le CCR pour un certain nombre de sites d'intérêt particulier, comme les aires protégées du réseau SUN. Ces synthèses (figure 3) sont en format jpg pour une visualisation rapide ainsi qu'en format shape pour une analyse dans un SIG.

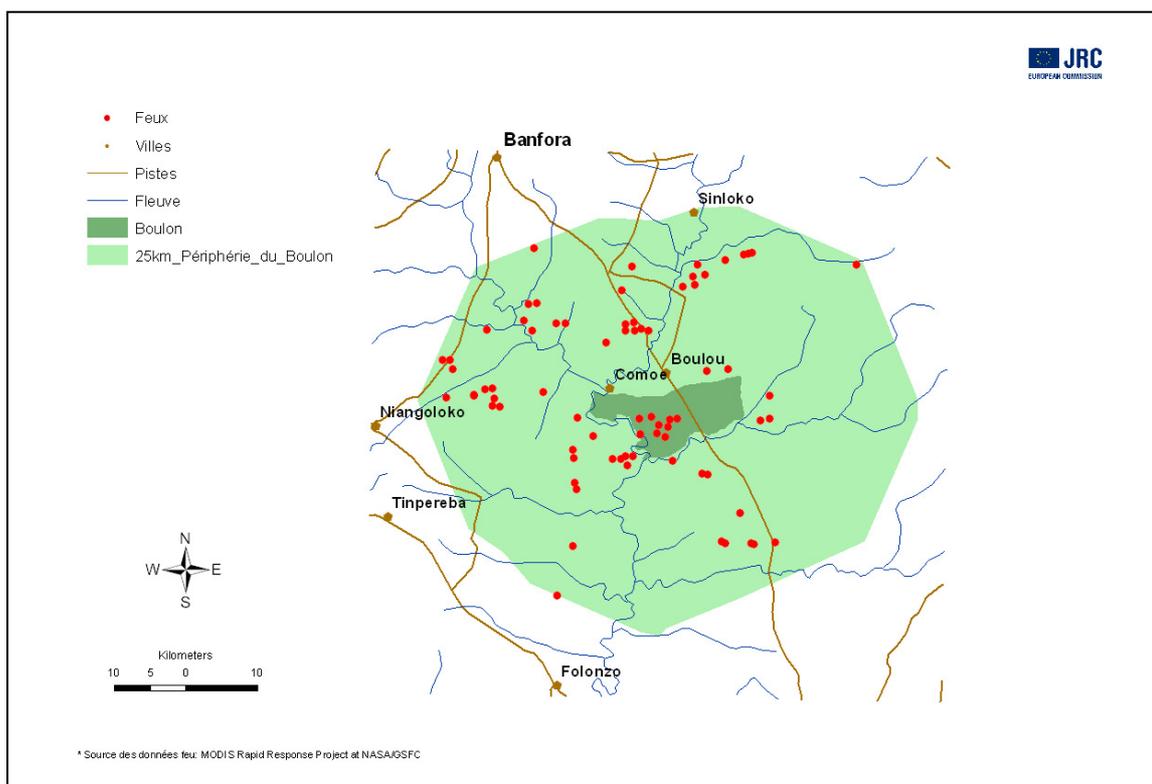


Figure 3. Localisation des épisodes de feu détectés dans et à la périphérie de la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) entre le 17 et le 23 décembre 2007.

2.2. Cartographie des surfaces parcourues par les feux

Les surfaces parcourues par les feux sont détectées et délimitées à l'aide de l'imagerie fournie par le capteur MODIS. Pour être exploitables, les images doivent être exemptes de nuages et acquises le long d'une orbite dont l'axe est proche de la verticale par rapport au site d'intérêt. Compte tenu de ces restrictions, l'intervalle de temps entre deux images exploitables est de l'ordre de 2 semaines (tableau 5). Ce laps de temps est tout à fait suffisant pour la détection des surfaces parcourues par les feux car leur signature spectrale, dans les bandes du capteur MODIS, reste caractéristique de celle d'une surface brûlée pendant une quinzaine de jours après l'épisode de feu.

Des seuils radiométriques, caractéristiques d'une surface brûlée, sont déterminés pour chaque image acquise et les pixels ayant satisfait les critères de seuillage sont extraits du fichier image d'origine pour créer une carte des surfaces parcourues par les feux à la date considérée (Eva et al., 2004) (figure 4).

Tableau 5. Dates d'acquisition des images MODIS exploitées pour cartographier les surfaces parcourues par les feux dans les sites d'observations du réseau SUN durant la saison sèche 2007-08

	oct. 07	nov. 07	dec. 07	jan. 08	fev. 08	mars 08	mai 08
Forêt de Patako ⁽¹⁾	-	23	-	8	2, 7, 23	11, 27	12
Forêt de Boulon	-	13	11, 27	12, 23	3, 12	7, 30	
Ranch de Nazinga	30	4, 6, 13	15, 27	9, 25	10, 19	30	
Parc du W	5, 16, 30	13	1, 12, 24	9, 23	5, 19	9, 30	

(1) : Patako a fait l'objet d'une observation supplémentaire le 12 mai 2008, suite à un épisode de feu qui a brûlé en une seule fois 64 % de la superficie totale de la forêt classée

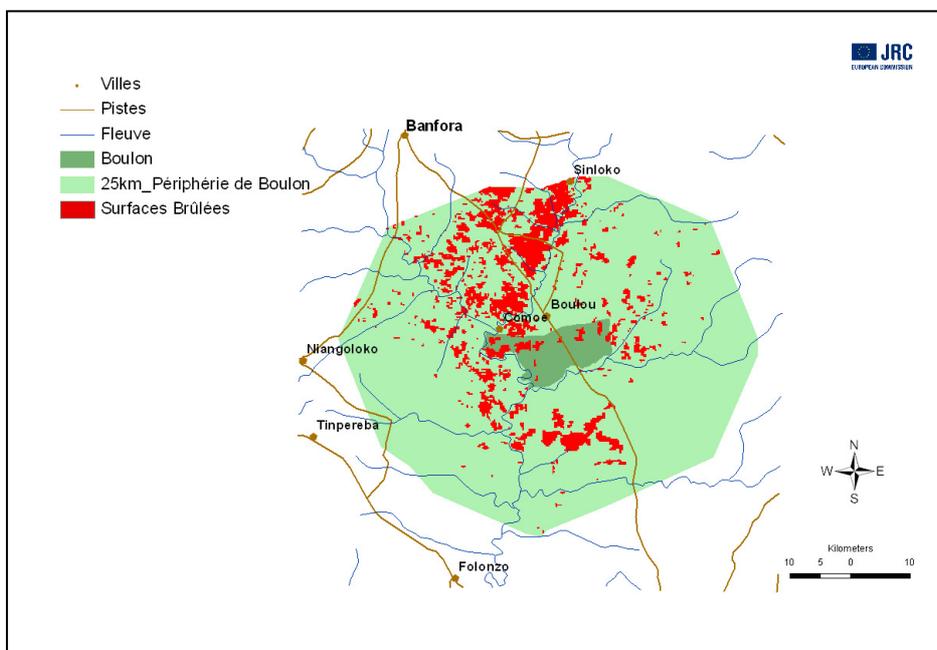
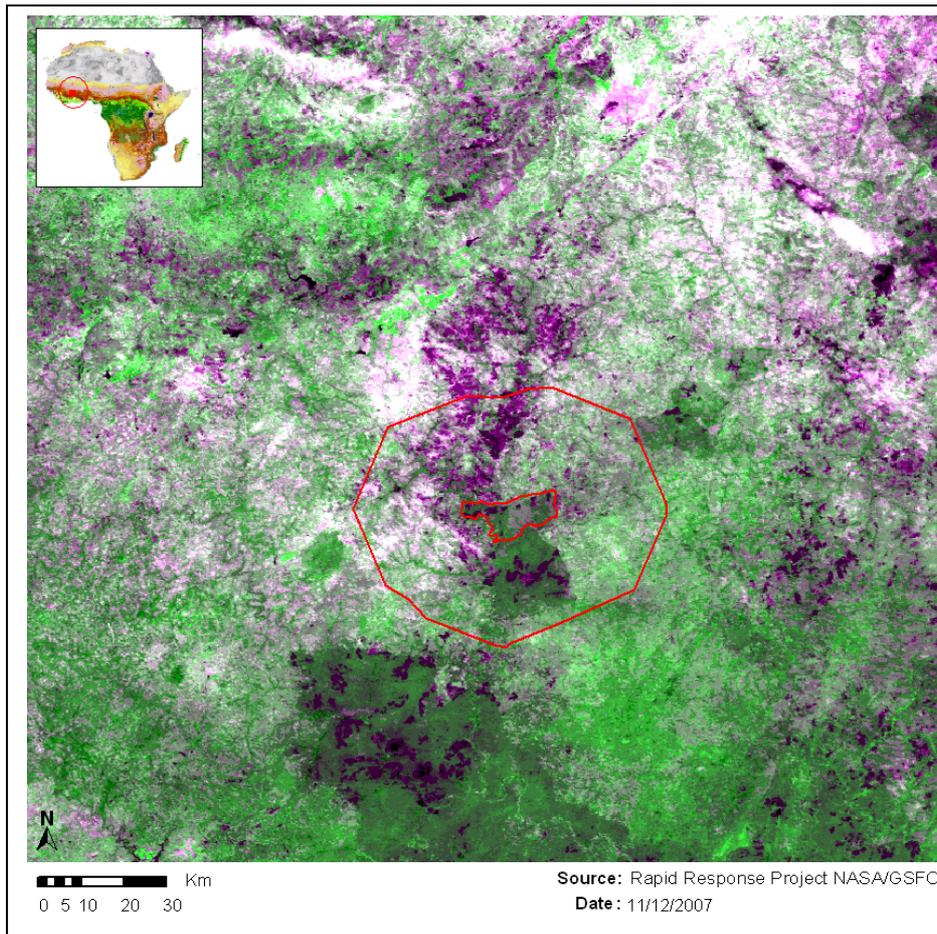


Figure 4. Estimation des surfaces brûlées. Exemple de la forêt de Boulon
en haut: Image MODIS du 11/12/2007. Surfaces parcourues par les feux : en mauve.
en bas: Résultat de classification. Surfaces brûlées cumulées au 11/12/2007.

2.3. Dynamique des brûlis: indicateur d'état de l'habitat naturel

La dynamique des brûlis a été analysée sur la base du nombre de détections de feu au pas de temps hebdomadaire et de l'estimation des surfaces parcourues par les feux, du 1^{er} octobre 2007 au 30 mars 2008.

Le nombre d'épisodes de feu et la morphologie des surfaces brûlées résultantes sont directement liés à la disponibilité en combustible et à son organisation dans l'espace. Une étude récente de van der Werf et al. (2008) a ainsi quantifié les interactions entre l'activité des feux et la production primaire dans les écosystèmes tropicaux. Dans le cas spécifique des sites du réseau SUN, on peut distinguer deux situations extrêmes:

- un milieu agricole à jachères fréquentes : la charge en combustible [surtout la strate herbacée] y est faible et morcelée ; les espaces cultivés constituent un « frein » au développement des feux ;
- un milieu peu ou pas anthropisé : la charge en combustible y est élevée et distribuée de façon continue ; seuls quelques pare-feux naturels [rivières et plans d'eau ; bas-fonds humides ; affleurements rocheux] limitent le développement des feux.

Si l'on considère l'extension et la morphologie des surfaces brûlées, la moitié Ouest du WAP donne un bon exemple de ces deux situations extrêmes (figure 5). Dans les aires protégées, comme les réserves de Singou et de Pama au Burkina Faso, ou même les concessions de chasse comme Tandougou et Ouamou, les plages brûlées apparaissent homogènes et étendues tandis qu'elles sont petites et morcelées dès que l'on se trouve à l'extérieur du complexe. Ceci reflète l'agencement spatial du couvert végétal, c'est-à-dire du combustible. Dense et surtout continu à l'intérieur du complexe, le couvert permet le développement de nombreux feux et la progression des fronts de feu sur de grandes distances. A l'extérieur, le couvert est constitué d'une mosaïque d'espaces cultivés et de jachères plus ou moins anciennes. La charge en combustible y est inférieure à celle existant dans le complexe. La charge en biomasse herbeuse mesurée sur le terrain le long de transects recoupant la limite du parc du W-du-Burkina est en moyenne de 7.7 t/ha de matière sèche à l'intérieur contre 3.2 t/ha dans les jachères du domaine agricole (Clerici, 2006; Eva et al., 2006). De plus, les espaces potentiellement brûlables, essentiellement les jachères, sont réduits et très morcelés, limitant ainsi le développement de grandes surfaces brûlées. La culture du coton contribue également à limiter l'étendue des surfaces brûlées car les agriculteurs protègent bien évidemment leurs parcelles.

Ces différences de texture des surfaces brûlées, dues à l'agencement du combustible dans et hors du complexe, s'accompagnent de différences majeures dans le nombre d'épisodes de feu. A titre d'exemple, le nombre de détections d'épisodes de feu dans le Parc du W est systématiquement supérieur à celui observé dans une zone périphérique de 25 km (figure 6) et ce quelque soit le moment dans la saison de brûlis. La même observation avait été faite pour les trois saisons de brûlis précédentes [2004-2007] (Grégoire et Simonetti, 2007).

Le rapport entre la densité des feux [nombre de feux / 1000 ha] à l'extérieur et à l'intérieur d'une aire protégée constitue un bon indicateur de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant, en termes de disponibilité et d'agencement spatial du combustible. C'est une indication i) de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire; ii) de son degré d'isolement; iii) de son niveau de protection. Dénommé *Indice de Spécificité* dans ce document, ce rapport constitue un bon outil de suivi et de comparaison des aires protégées.

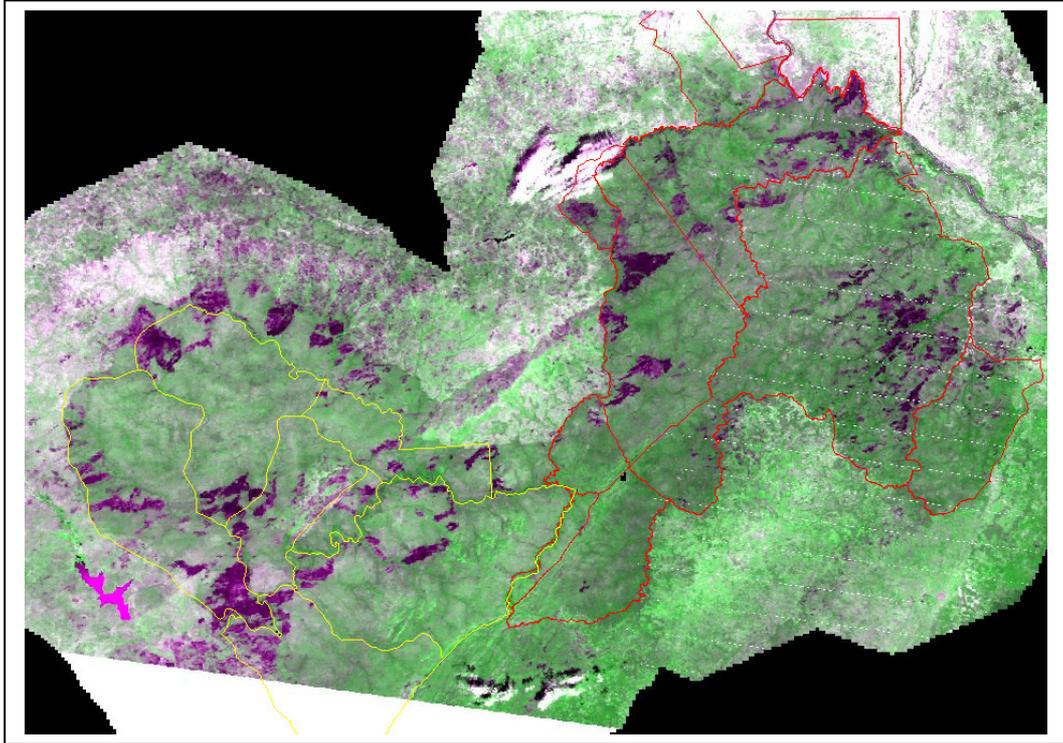


Figure 5. Surfaces parcourues par les feux (en mauve) dans les aires protégées du complexe du WAP et à sa périphérie au début de la saison de brûlis 2006-2007 (image MODIS - 12 nov. 2006).

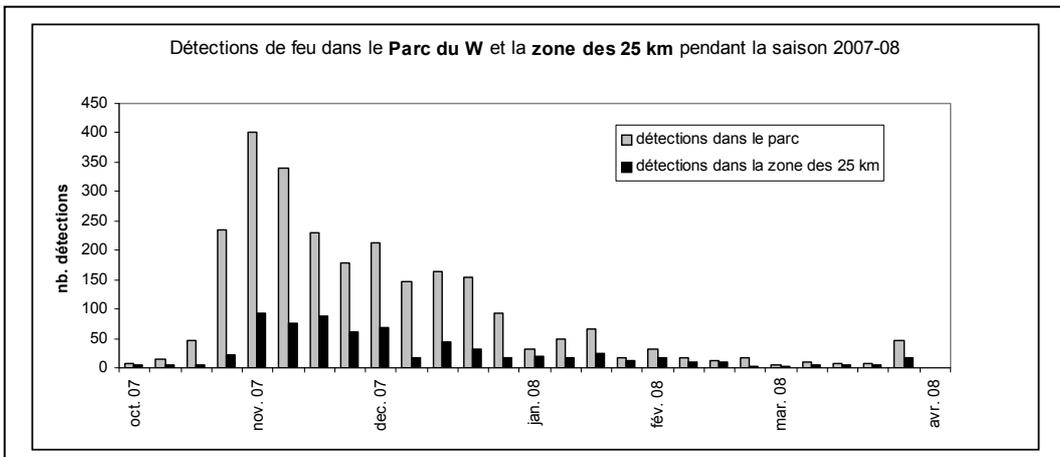


Figure 6. Comparaison du nombre de détections de feu par semaine dans le parc du W et dans une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

3. Brûlis 2007-2008 dans la forêt classée de Boulon – Burkina Faso

3.1. Saisonnalité de l'activité des feux

Occurrences de feu

Le suivi a débuté le 1^{er} octobre 2007, mais les premiers feux sont détectés dans la dernière semaine de novembre, tant dans la forêt classée que dans la zone des 25 km (figure 7). Le pic d'activité apparaît plus ou moins à la même période [mi-décembre] dans l'aire et à sa périphérie; mais la période d'activité est plus étalée à la périphérie. Ceci se reflète sur l'extension des surfaces parcourues par le feu (figure 9): dès la fin décembre, les feux ont parcouru de l'ordre de 85 % de la surface occupée par la forêt de Boulon, tandis qu'à la même époque, seul 37 % de la zone périphérique a été brûlée.

La distribution temporelle des feux est fortement dissymétrique : le nombre de feux augmente très vite en début de saison [le pic d'activité dans la forêt est atteint 3 semaines après le début des feux] mais diminue plus progressivement ensuite [les derniers feux sont détectés 11 semaines après le pic].

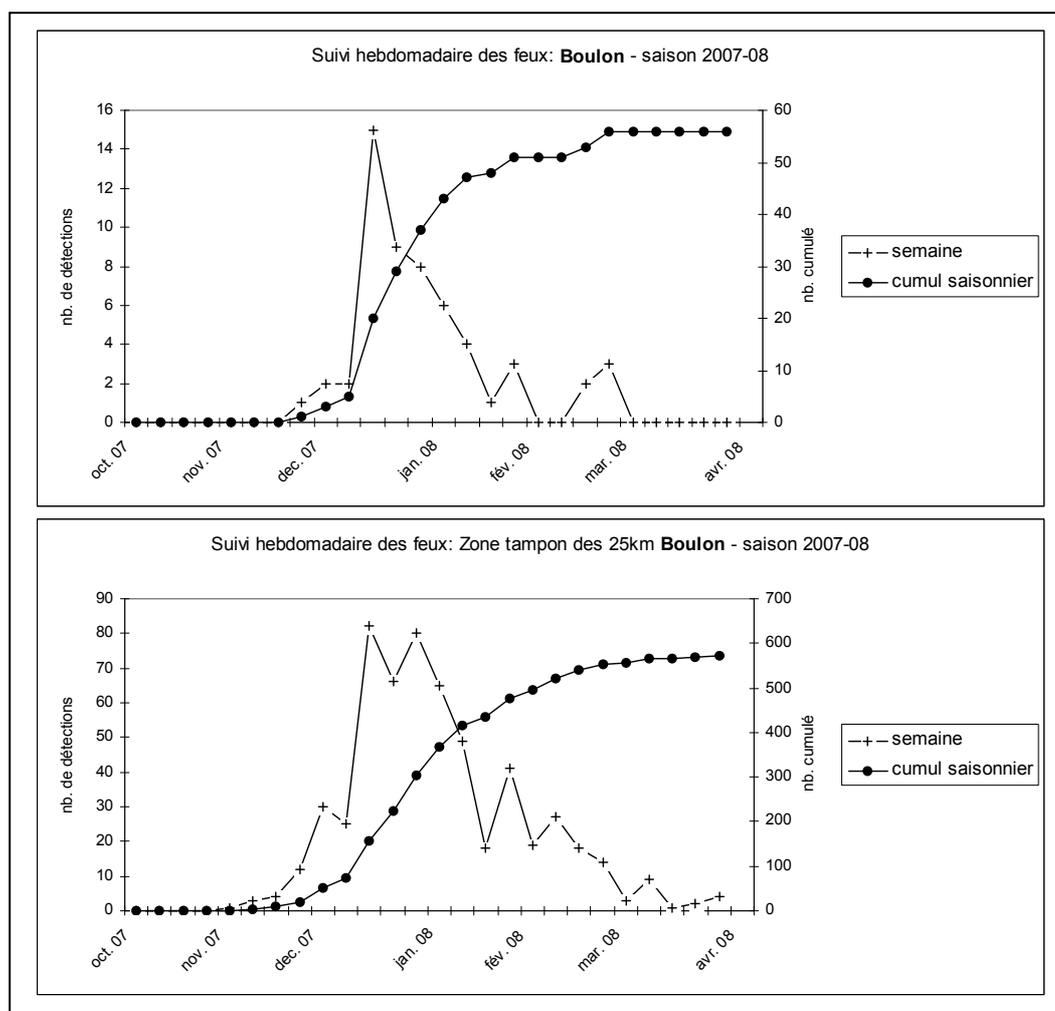


Figure 7. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

Les derniers feux sont détectés fin février dans la forêt, tandis qu'une activité faible mais non négligeable reste présente jusqu'au 30 mars dans la zone périphérique. A cette date, le nombre absolu d'épisodes de feu est très supérieur dans la zone périphérique [un peu moins de 600 détections] que dans la forêt elle-même [~ 55].

La situation s'inverse lorsque l'activité est exprimée en nombre de détections pour 1000 ha (figure 8) ; elle est de loin supérieure à l'intérieur de l'aire: du simple au double. Ceci se reflète en partie sur l'extension des surfaces parcourues par les feux en fin de saison (figure 9): pratiquement 100 % de la surface occupée par la forêt classée, pour 69 % de la zone périphérique.

La valeur élevée de l'*Indice de Spécificité* [2.14] (figure 8) en fin de saison montre que les conditions de surface dans la forêt permettent une importante activité des feux et que celle-ci est supérieure à celle prévalant à l'extérieur de la forêt. Ceci indique un couvert végétal relativement dense [combustible abondant] et continu [possibilité de propagation des feux].

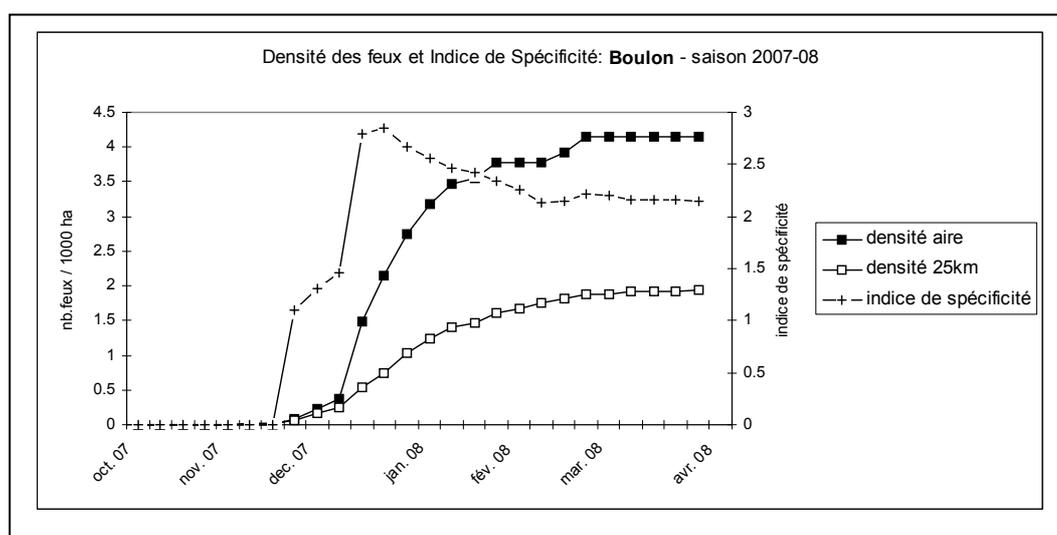


Figure 8. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha détectés dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Evolution hebdomadaire de l'indice de spécificité : rapport de la densité dans la forêt et dans sa zone périphérique des 25 km.

Surfaces parcourues par les feux

L'essentiel des surfaces brûlées dans la forêt apparaissent dans la 2^{ème} quinzaine de décembre (figure 9). A la mi-décembre [image MODIS du 11 décembre 2007], seuls 1787 ha [13.2% de la surface de la forêt] ont été parcourus par les feux. Deux semaines plus tard [image MODIS du 27 décembre] l'estimation est de 9609 ha supplémentaires, soit un total de plus de 84% de la surface de la forêt. L'image MODIS du 12 janvier apporte 1403 ha de plus, portant le cumul à 95%. Le maximum est atteint à la mi-février [image MODIS du 12 février]: de l'ordre de 98%. En résumé, la progression des surfaces parcourues par les feux dans la forêt se concentre sur une période de 2 mois [mi-décembre à mi-février] portant à un brûlage de la quasi-totalité [98%] de la surface de la forêt classée.

La progression est plus lente dans la zone des 25 km. Les premières surfaces brûlées apparaissent sur l'image MODIS du 11 décembre et les dernières sur l'image du 30 mars 2008, soit 3.5 mois plus tard, avec un pic fin décembre. Par ailleurs on notera que le cumul saisonnier n'est que de 70% de la superficie totale de la zone des 25 km, alors qu'il est de 98% dans la forêt.

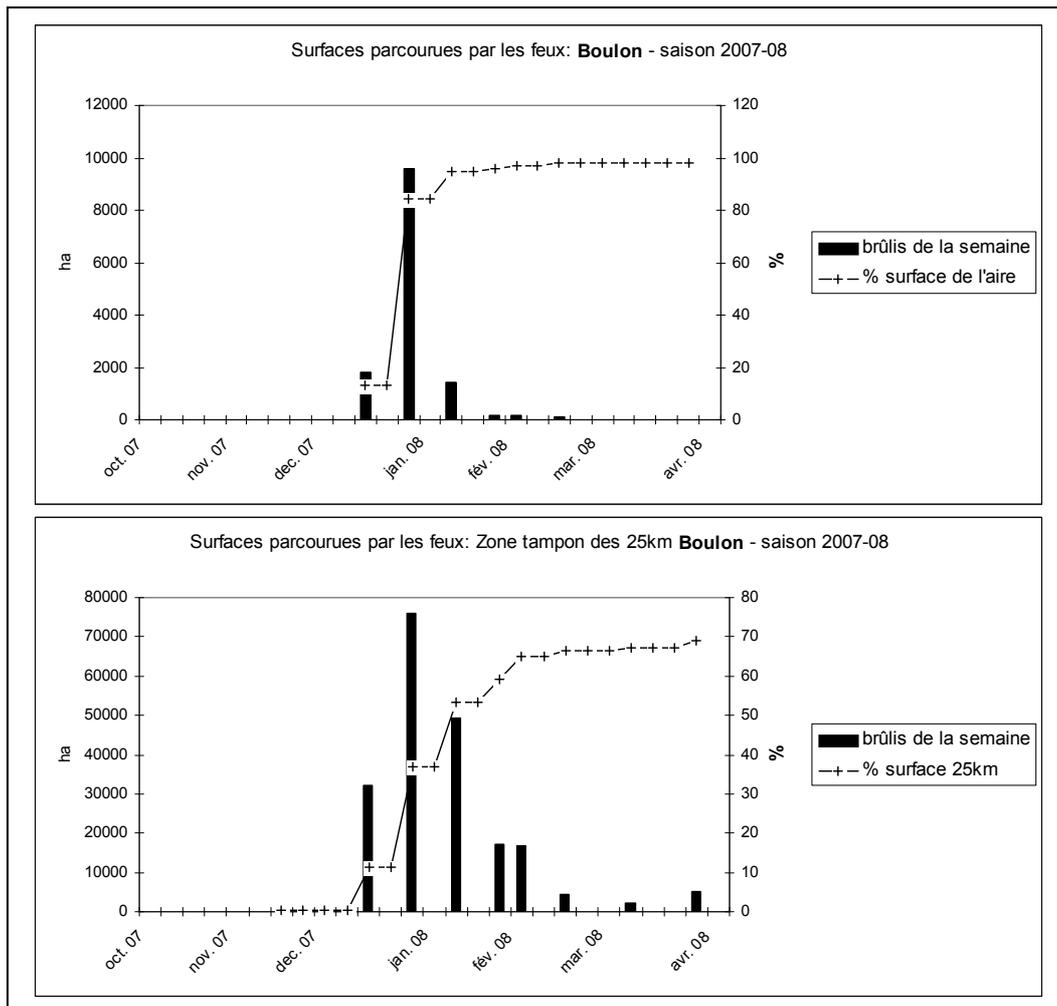


Figure 9. Surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution.

3.2. Distribution spatiale des feux

En fin de saison, 98% de la superficie de la forêt classée a été parcourue par les feux. On ne peut donc parler de distribution spatiale particulière dans l'aire protégée.

On distingue par contre trois espaces bien différenciés dans la zone des 25 km (figure 10):

- un espace exempt de feux: le quart SE de la zone périphérique, entre la piste Boulon-Touroukoro et la rivière Koflandé, montre une activité des feux nulle ou très faible. De même, à l'Ouest de la forêt, à proximité de Tinpereba.
- un espace entièrement parcouru par les feux: il s'agit en grande partie de l'espace occupé par la forêt classée de la Koflandé, au Sud de celle de Boulon.
- un espace dans lequel plus ou moins 50% de la surface a été parcouru par les feux : le quadrat NE de la zone périphérique.

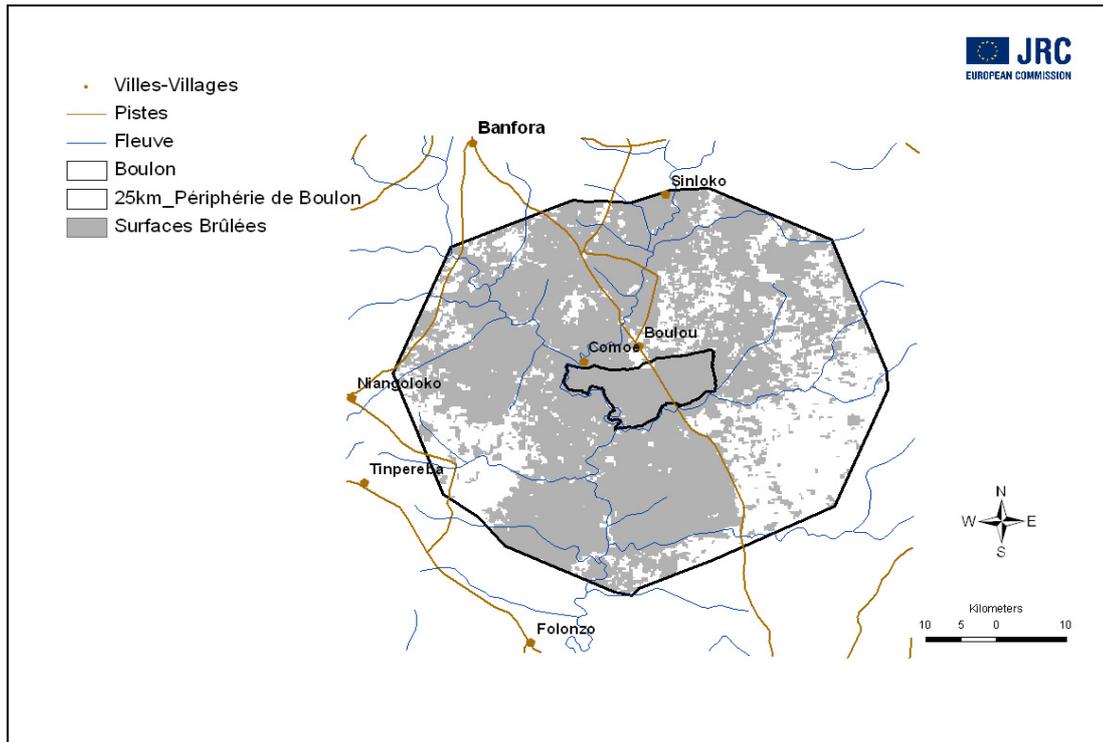


Figure 10. Cumul des surfaces parcourues par les feux pendant la saison sèche 2007-2008 dans la forêt classée de Boulon (Burkina Faso) et la zone périphérique des 25 km.

4. Brûlis 2007-2008 dans le ranch de Nazinga – Burkina Faso

4.1. Saisonnalité de l'activité des feux

Occurrences de feu

Les premiers épisodes de feu sont détectés durant la dernière semaine d'octobre (figure 11), tant dans le ranch que dans la zone périphérique des 25 km; soit un mois plus tôt que dans la forêt classée de Boulon. Le pic d'activité est atteint durant la 2^{ème} semaine de novembre.

Comme dans la forêt de Boulon, on observe une forte dissymétrie dans la distribution temporelle des feux: le nombre d'épisodes augmente brutalement en début de saison mais diminue progressivement après le pic d'activité. Cette dissymétrie est beaucoup plus marquée dans la zone périphérique que dans le ranch: plus de 88% du total saisonnier du nombre d'épisodes de feu est atteint dès la 3^{ème} semaine de novembre dans le ranch, tandis qu'il faut attendre la 2^{ème} semaine de janvier pour avoir le même pourcentage dans la zone périphérique.

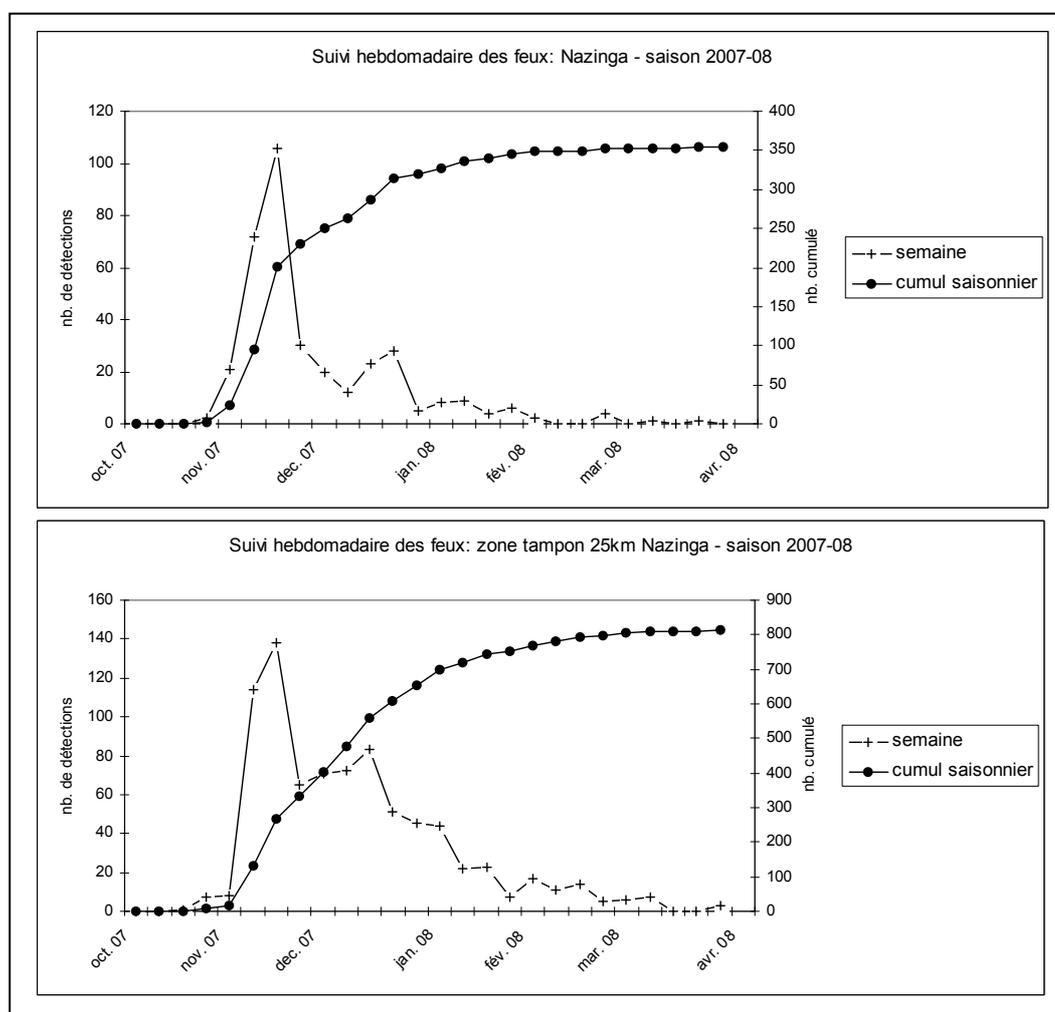


Figure 11. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

La saison des feux prend fin, tant dans le ranch qu'à sa périphérie, vers le 10 mars. Le total saisonnier est de 354 détections dans le ranch et 814 dans la zone des 25 km. Rapportés à la

surface, ces cumuls saisonniers sont assez proches : 2.93 et 2.18 dans le ranch et la zone des 25 km respectivement. L'Indice de Spécificité est ainsi relativement bas (figure 12) : 1.35, alors qu'il est de 2.14 dans la forêt classée de Boulon. Ceci montre que le contraste aire protégée – zone périphérique, en termes de type de couvert végétal et son agencement dans l'espace, est moins marqué à Nazinga qu'à Boulon. Ce qui pourrait signifier que l'isolement de Nazinga est moindre que celui de la forêt de Boulon.

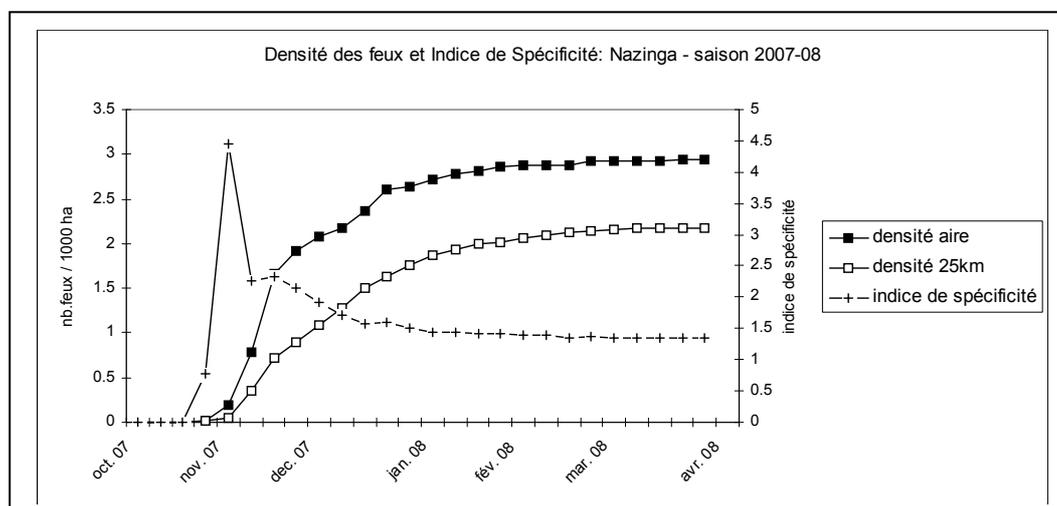


Figure 12. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha (densité des feux) détectés dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Evolution hebdomadaire de l'indice de spécificité : rapport de la densité dans le ranch et dans sa zone périphérique des 25 km.

Surfaces parcourues par les feux

La plus forte progression des surfaces brûlées s'observe, tant dans le ranch que dans la zone des 25 km, durant la 1ère quinzaine de décembre (figure 13). L'image MODIS du 15 décembre 2007 montre qu'à cette date 77% de la superficie de la réserve et 54 % de celle de la zone périphérique ont été parcourus par les feux. En fin de saison [image MODIS du 30 mars 2008], ces pourcentages sont de 88.4% pour la réserve et 66.5% pour la zone périphérique. On observe moins de surfaces brûlées à la périphérie que dans le ranch, comme dans le cas de la forêt de Boulon [98% dans la forêt et 70% dans la zone des 25 km], mais l'écart est moindre à Nazinga. Ce qui renforcerait l'hypothèse d'un moindre isolement de Nazinga par rapport à Boulon.

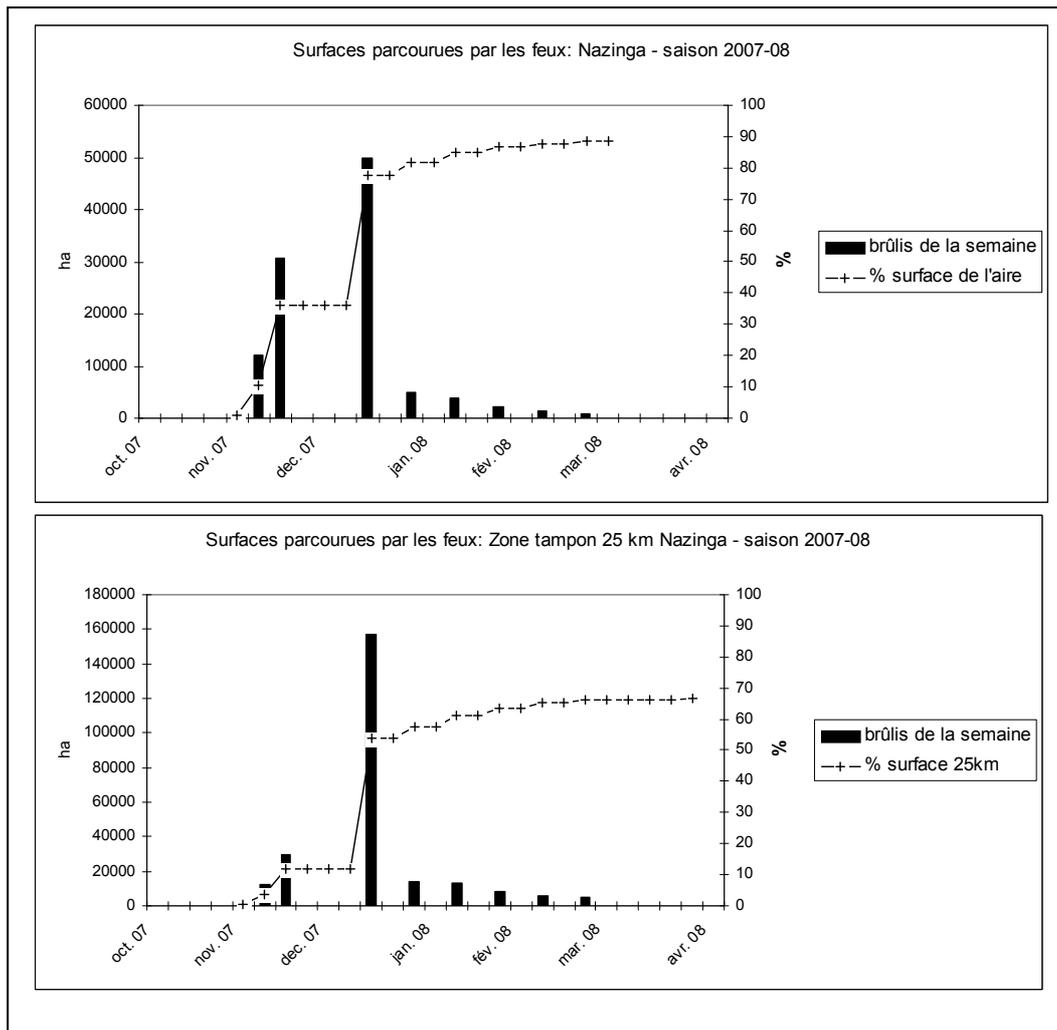


Figure 13. Surfaces parcourues par les feux dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution.

4.2. Distribution spatiale des feux

Les surfaces parcourues par les feux dans l'aire protégée de Nazinga [un peu plus de 88% de la superficie totale en fin de saison] ne montrent pas de disposition particulière sur les images MODIS (figure 14). Il est difficile de dire si un secteur est plus touché qu'un autre.

L'examen de la zone des 25 km montre par contre que la partie ghanéenne de cette zone périphérique est généralement plus brûlée que la partie burkinabé. Cette dernière montre trois « poches » peu ou pas brûlées à l'Ouest [région de Biéha], au N-W [région de Koumbo] et à l'Est de la réserve [entre Po et la frontière du Ghana]; ces espaces sont peut-être plus cultivés et donc moins sujets au feu par manque et/ou par discontinuité dans la distribution spatiale du combustible.

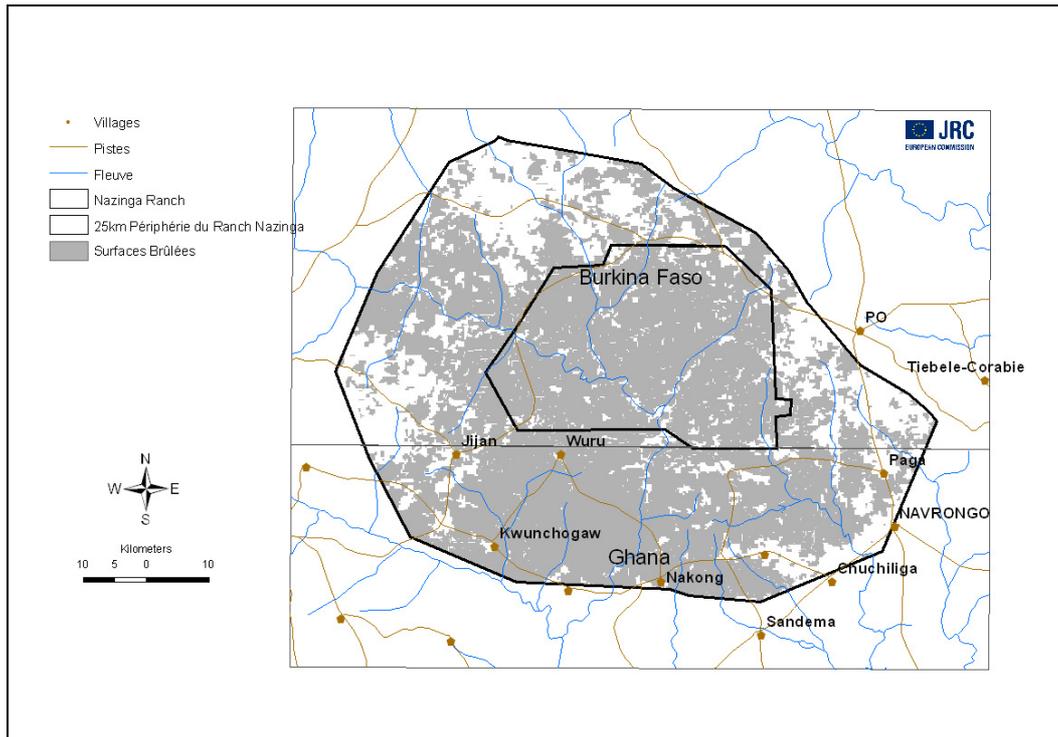


Figure 14. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans le ranch de Nazinga (Burkina Faso) et la zone périphérique des 25 km, pendant la saison sèche 2007-2008.

5. Brûlis 2007-2008 dans le parc transfrontalier du W

Le parc transfrontalier du W est dans une zone de transition climatique et de mode d'occupation des terres. Il y a donc des différences marquées entre les trois composantes nationales du parc: W-du-Bénin, W-du-Burkina et W-du-Niger. L'analyse faite sur l'ensemble du parc doit donc être complétée par des analyses spécifiques par pays.

5.1. Saisonnalité de l'activité des feux

Occurrences de feu

On peut considérer que la saison des brûlis (figure 15) a véritablement commencé dans le parc durant la 2^{ème} semaine d'octobre [8-14 oct. 2007] avec un pic d'activité durant les 2 premières semaines de novembre [29 oct. - 11 nov.], soit très peu de temps après le début de la saison. Dans la zone des 25 km, le démarrage est décalé de deux semaines [4^{ème} semaine d'octobre: 22-28 oct. 2007] et le pic d'activité s'étale sur 3 semaines : 29 oct. - 18 nov. Là encore, très peu de temps sépare le début du maximum de la saison des feux.

Comme à Boulon et Nazinga, il y a une forte dissymétrie dans la distribution temporelle des épisodes de feu: le nombre d'épisodes augmente très rapidement au tout début de la saison. Ainsi fin novembre, soit un mois et demi après le début de la saison, le nombre d'épisodes représente déjà 65% du total saisonnier dans le parc et 63% dans la zone des 25 km.

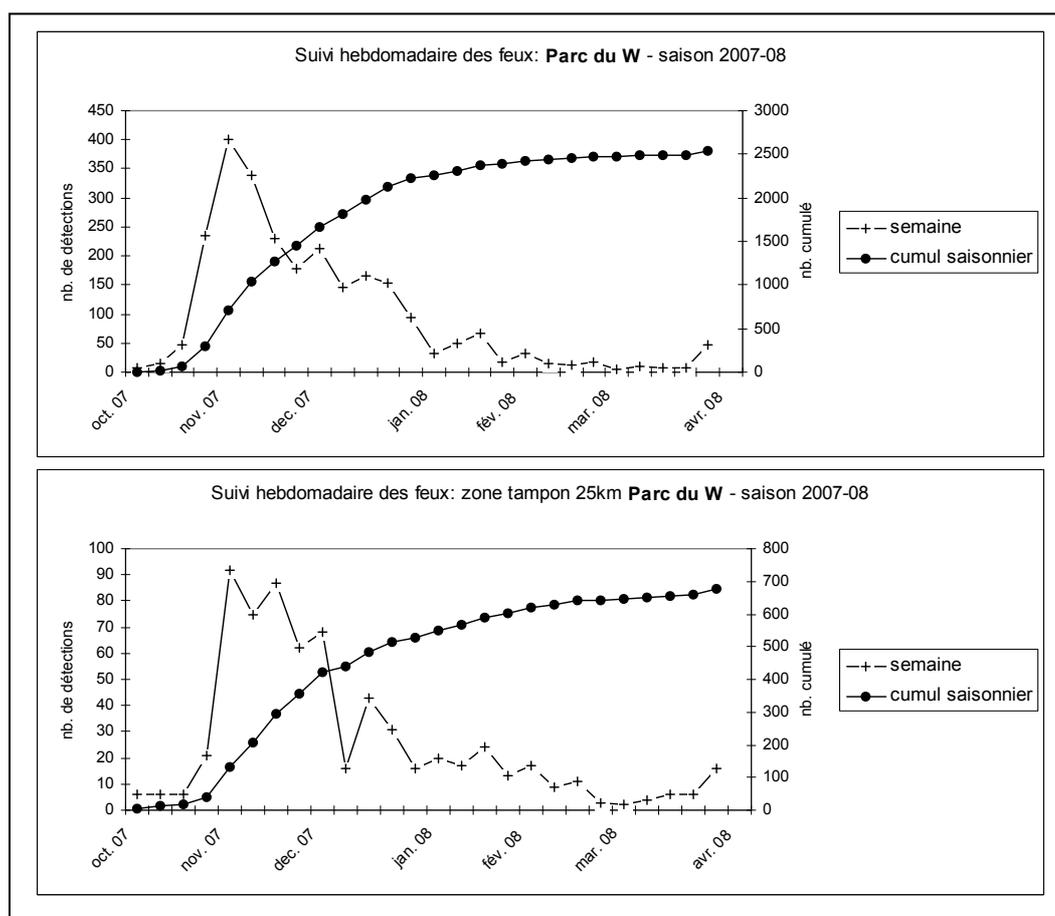


Figure 15. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans le parc du W [Bénin, Burkina Faso et Niger] et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

Si l'on considère les composantes nationales (figure 16), la saison est plus étalée dans le W-du-Bénin, avec 60% du total saisonnier atteint fin novembre, puis vient le W-du-Niger avec 65% et le W-du-Burkina avec 79%. A l'exception de deux foyers importants mais passagers au Niger et au Bénin, la dernière semaine de mars marque la fin de la saison des brûlis.

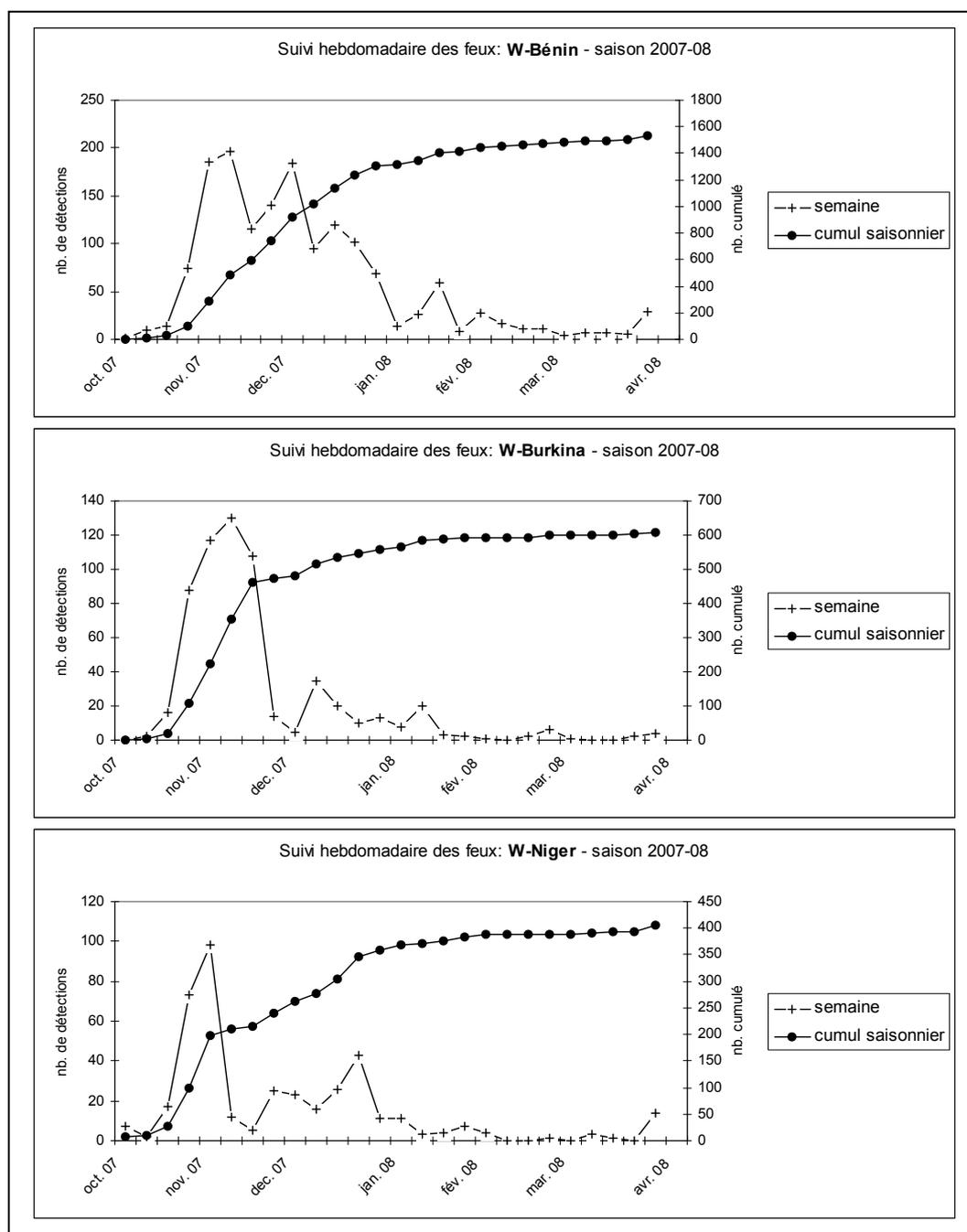


Figure 16. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans les 3 composantes du parc du W [W du Bénin, W du Burkina Faso et W du Niger] durant la saison sèche 2007-2008.

Les cumuls saisonniers sont 2544 épisodes dans le parc et 677 dans la zone des 25 km. Rapportés à la surface, la densité des feux est de 2.44 épisodes pour 1000 ha dans le parc et 0.68 dans la zone des 25 km (figure 17). Ce qui donne un *Indice de Spécificité* du parc du W de 3.58; valeur très supérieure à celle de la forêt classée de Boulon [2.14] et du ranch de

Nazinga [1.35]. Le parc pris dans son ensemble se différencie donc nettement du milieu environnant.

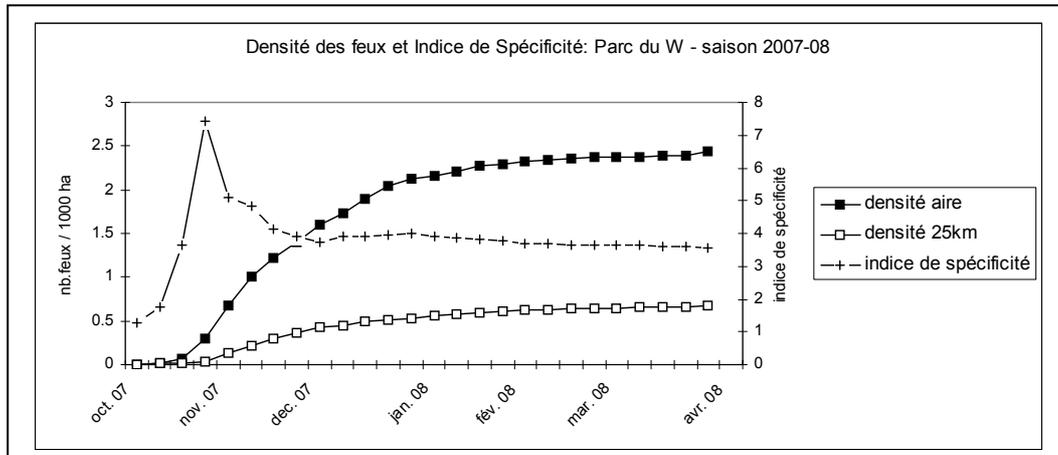


Figure 17. Cumul saisonnier du nombre d'épisodes de feu pour 1000 ha [densité des feux] et évolution hebdomadaire de l'indice de spécificité dans le parc transfrontalier du W et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

Mais l'examen de la situation dans les composantes nationales montre des disparités marquées. En fin de saison, le W-du-Niger a un *Indice de Spécificité* de 63 (!), le W-du-Burkina de 5.24 et le W-du-Bénin de 3.03. Ces chiffres montrent de façon indirecte le degré d'anthropisation du milieu à la périphérie des composantes nationales. Le W-du-Niger montre une situation extrême dans laquelle la périphérie du parc [hors zone protégée adjacente du Burkina et du Bénin] est presque entièrement agricole. La situation dans le W-du-Burkina est beaucoup moins contrastée, mais l'intérieure du parc montre une activité des feux de très loin supérieure à celle observée à la périphérie. La situation la moins contrastée s'observe sur le W-du-Bénin; ce qui est dû en partie à l'importance des feux dans la zone cynégétique de la Djona, en limite Sud-Est du parc.

Surfaces parcourues par les feux

La progression la plus forte des surfaces parcourues par les feux (figure 18) s'observe dès la mi-novembre [semaine du 12 au 18 novembre]: à cette date, 48% de la superficie du Parc du W a été affectée par les feux; tandis que le cumul saisonnier est de 89% au 30 mars 2008. Le pic de progression dans la zone des 25 km s'observe également à la mi-novembre mais le pourcentage est bien moindre que dans le parc: 13%, pour un cumul saisonnier de 26%. Après le pic de mi-novembre, les surfaces brûlées hebdomadairement baissent régulièrement, à l'exception d'un pic secondaire dans la dernière semaine de février 2008 [18-24 février].

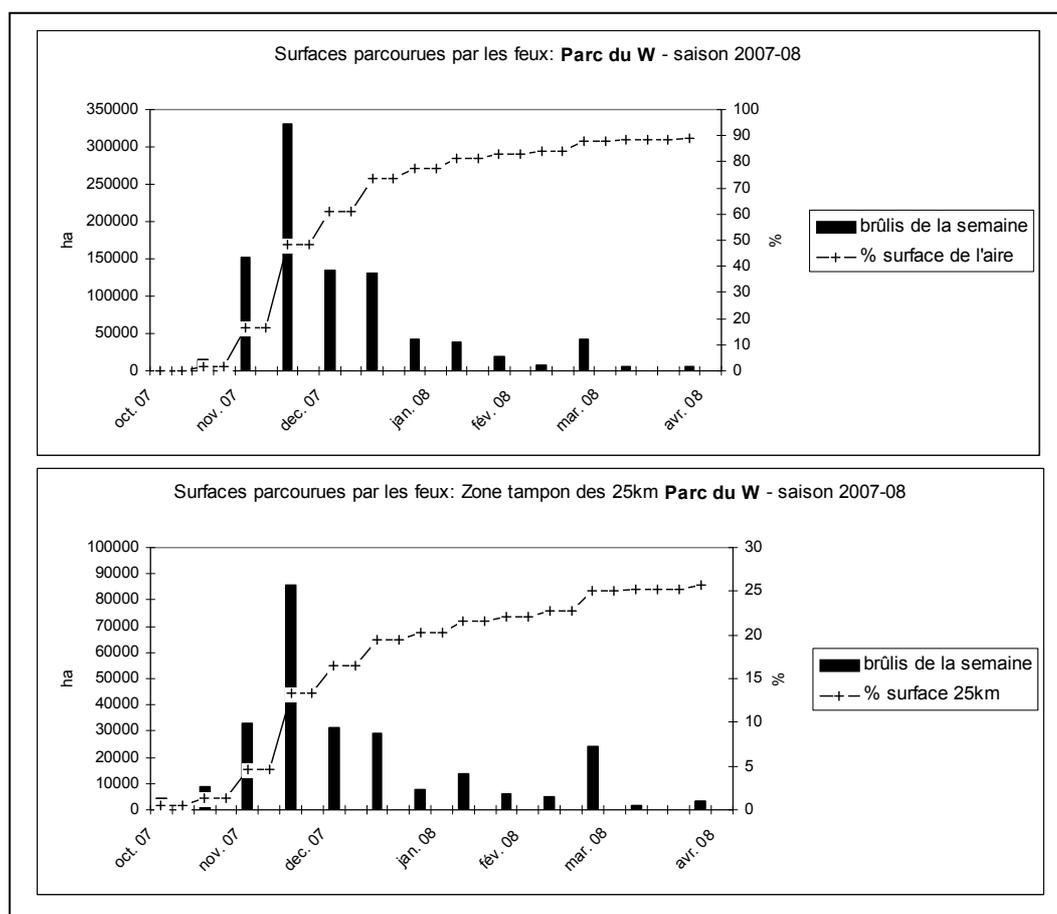


Figure 18. Surfaces parcourues par les feux dans le parc transfrontalier du W (Bénin, Burkina Faso et Niger) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution.

Les brûlis sont donc majoritairement de type « précoce » à « très précoce » (tableau 6), si on se réfère au plan de brûlis préconisé par les gestionnaires du parc du W (Lungren, 2003). Les brûlis de novembre représentent, en terme de surfaces parcourues par les feux, plus de 50% du total saisonnier. Les feux « très précoces et précoces » contribuent pour 69% du total. Les mêmes résultats avaient été obtenus durant le suivi des saisons 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007: pour chacune de ces 3 saisons de brûlis, 75% ou plus du total des feux de la saison est atteint dès le mois de décembre (Grégoire et Simonetti, 2007). Cette prédominance

des feux très précoces et précoces est donc une constante pour le parc du W. Est-ce en phase avec le plan de brûlis ?

Par ailleurs, on notera que la distribution temporelle des feux, observable au travers de l'évolution des surfaces brûlées, est pratiquement identique dans le parc et dans la zone des 25 km. Est-ce à dire que la gestion des feux est identique dans et hors du parc ?

Tableau 6. Contribution des 4 types de brûlis pour la saison 2007-2008 au sein du parc du W

	date image MODIS	type de brûlis	% du total saisonnier
Octobre	5, 16 et 30	de pare-feu	18.3
Novembre	13	très précoce	50.2
Décembre (*)	1, 12, et 24	précoce	18.6
Janvier	9 et 23	pleine saison	6.2
Février	5 et 19	pleine saison	5.4
Mars	9 et 30	pleine saison	1.2

* les surfaces brûlées cartographiées le 1^{er} décembre sont comptabilisées dans le mois de novembre

5.2. Distribution spatiale des feux

La situation diffère quelque peu selon la composante nationale considérée et suivant la saison de brûlis (figure 19).

W-du-Burkina Faso

On ne distingue pas d'agencement particulier puisque la quasi-totalité de cette composante nationale a été parcourue par les feux en fin de saison, c'est-à-dire au 30 mars 2008. La situation était identique pour la saison 2006-2007.

W-du-Bénin

On ne décèle pas non plus d'agencement particulier. De nombreuses plages non brûlées s'observent encore à la fin mars, mais elles semblent distribuées sur l'entièreté du parc. Ce n'était pas le cas en 2006-2007, saison durant laquelle les espaces non brûlés se trouvaient majoritairement dans la partie N-E du parc, entre le Pako et la Mékrou.

W-du-Niger

On peut distinguer, tant en 2007-2008 qu'en 2006-2007, trois zones : le tiers Est du parc, confinant avec le fleuve Niger; le tiers Ouest, le long de la frontière avec le Burkina; et la partie centrale. Les deux premières zones montrent pour les deux saisons de brûlis un pourcentage très élevé de surfaces parcourues par les feux, tandis que la zone centrale comporte de grands blocs non brûlés. En absence d'informations de terrain, il est difficile de dire si ces blocs sont effectivement non brûlés parce que le plan de brûlis le veut ainsi ou si il s'agit d'une zone dont les conditions de surface [prédominance d'un couvert herbacé clairsemé, par exemple] ne permet pas la détection des surfaces brûlées par l'imagerie MODIS à 250 m de résolution.

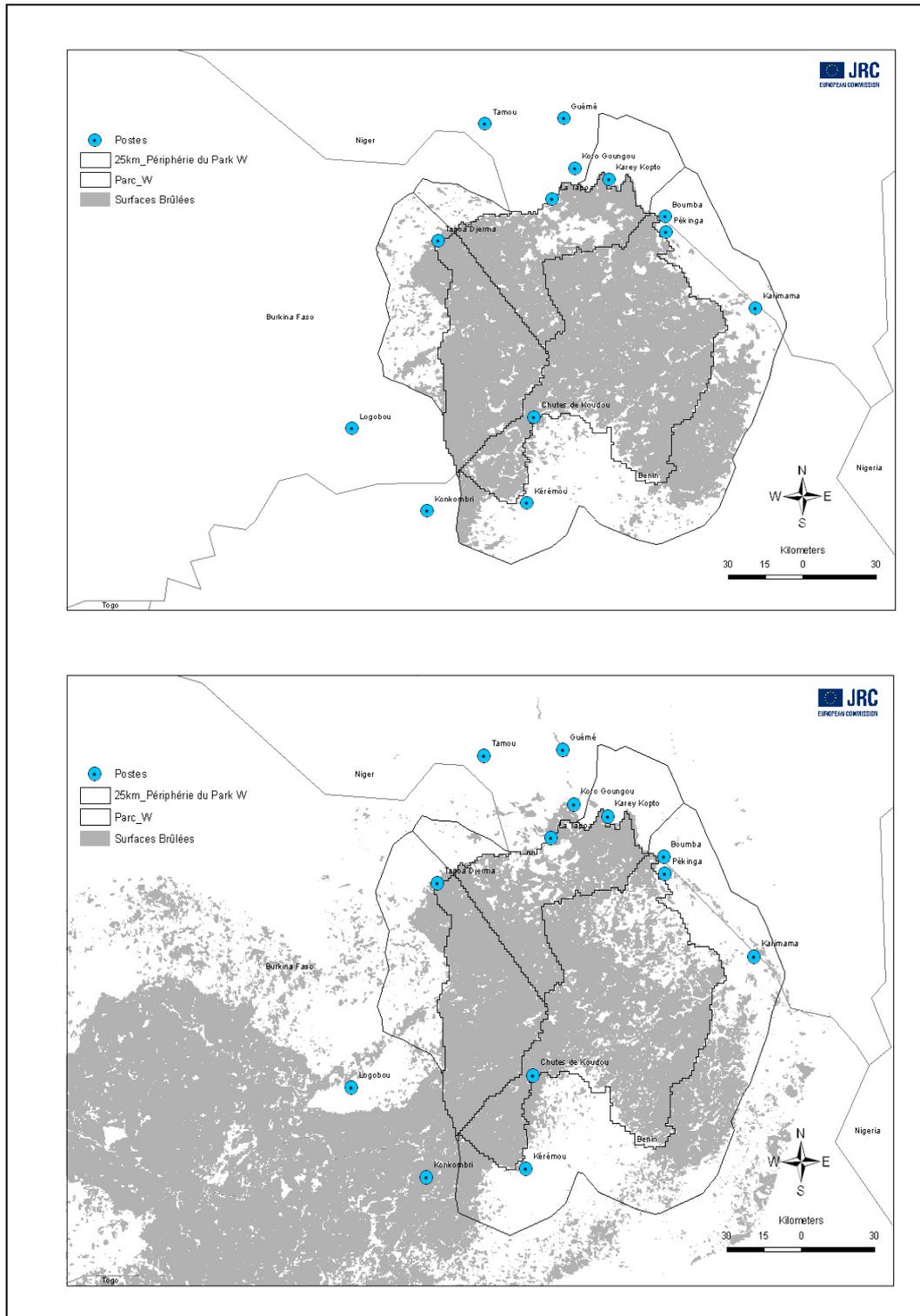


Figure 19. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans le parc transfrontalier du W pendant la saison sèche 2007-2008 (haut) et 2006-2007 (bas).

6. Brûlis 2007-2008 dans la forêt classée de Patako - Sénégal

6.1. Saisonnalité de l'activité des feux

Occurrences de feu

La situation de la forêt de Patako est particulière puisque seules 6 détections ont été faites durant la saison 2007-2008, toutes dans la dernière semaine du mois de mars 2008 (figure 20). On ne peut donc parler de saisonnalité des brûlis. De même dans la zone des 25 km, 27 détections concentrées sur 3 semaines de février-mars: 16 détections durant la semaine du 18 au 24 février, 6 pour la semaine du 17 au 23 mars et 5 pour la semaine du 24 au 30 mars.

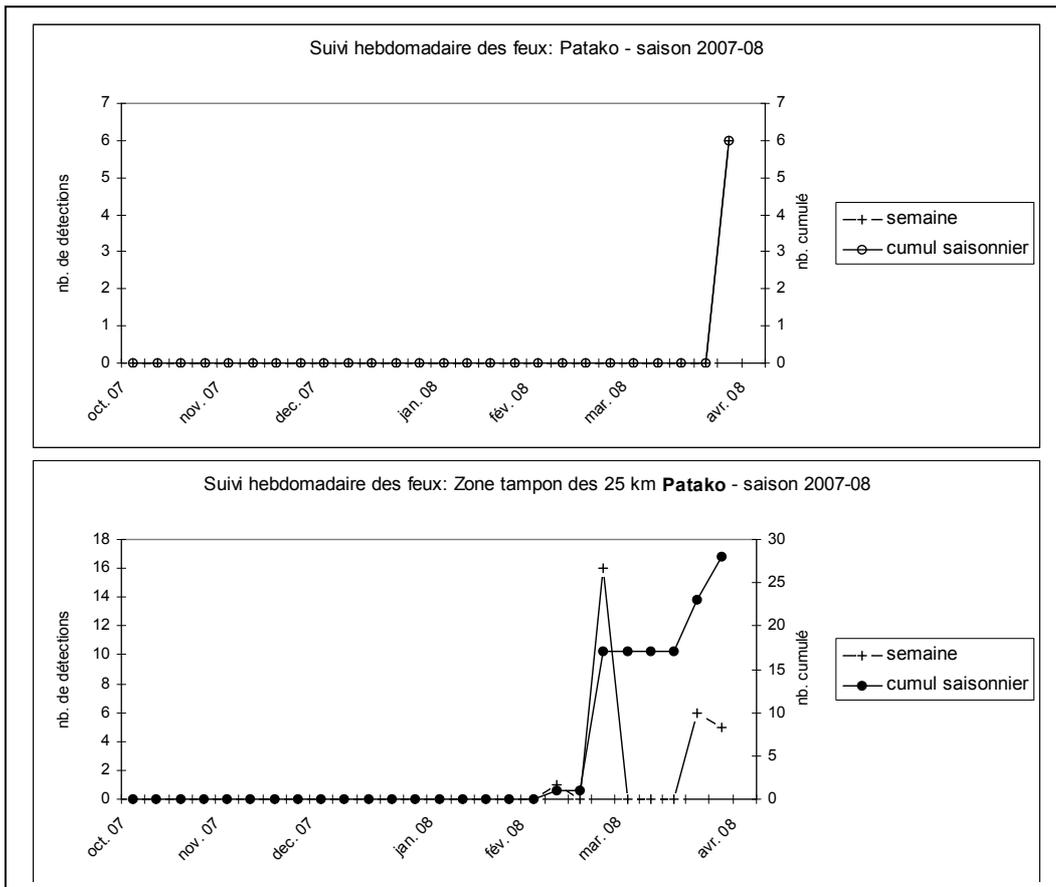


Figure 20. Décompte hebdomadaire des épisodes de feu détectés dans la forêt classée de Patako (Sénégal) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008.

Surfaces parcourues par les feux

Les 2/3 de la superficie de la forêt ont été brûlés en une seule fois à la mi-mai 2008 [image MODIS du 12 mai 2008] (figure 21). Pour la zone des 25 km, de l'ordre de 15% de la superficie totale a été parcourue par les feux au cours de trois épisodes majeurs (figure 22). En février, l'image MODIS du 23 février montre un bloc brûlé [~ 7000 ha] au Sud de la forêt, de part et d'autre de la route Koular-Kuntair ; ceci correspond à un bloc forestier situé entre Patako et la frontière de Gambie. En mars, l'image MODIS du 27 mars montre un bloc [~ 1250 ha] au Sud de la route Kuntair-Kerewan, en Gambie. En mai, l'image MODIS du 12 mai montre une série de surfaces brûlées [~ 15000 ha] distribuées dans la moitié Sud de la zone des 25 km, surtout en Gambie en rive droite du fleuve.

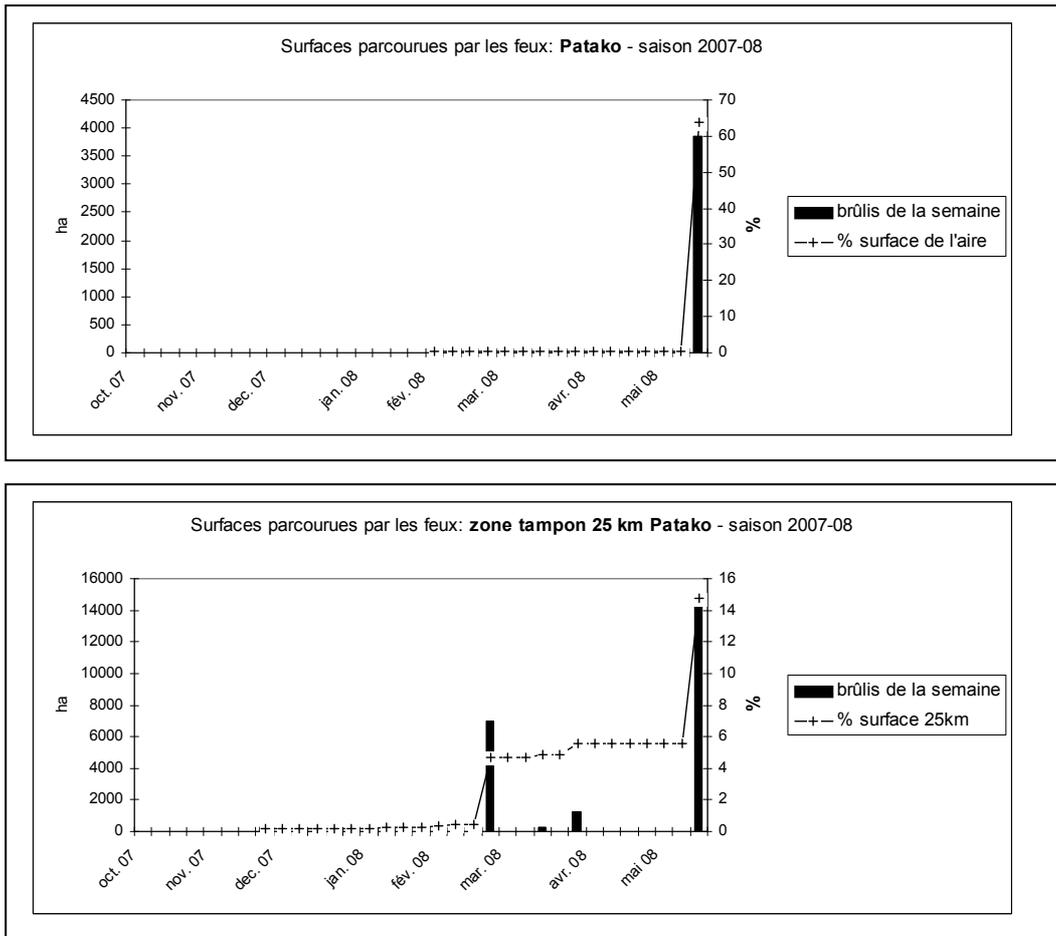


Figure 21. Surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Patako (Sénégal) et une zone périphérique de 25 km durant la saison sèche 2007-2008. Estimations faites par classification d'images satellitaires MODIS à 250 m de résolution.

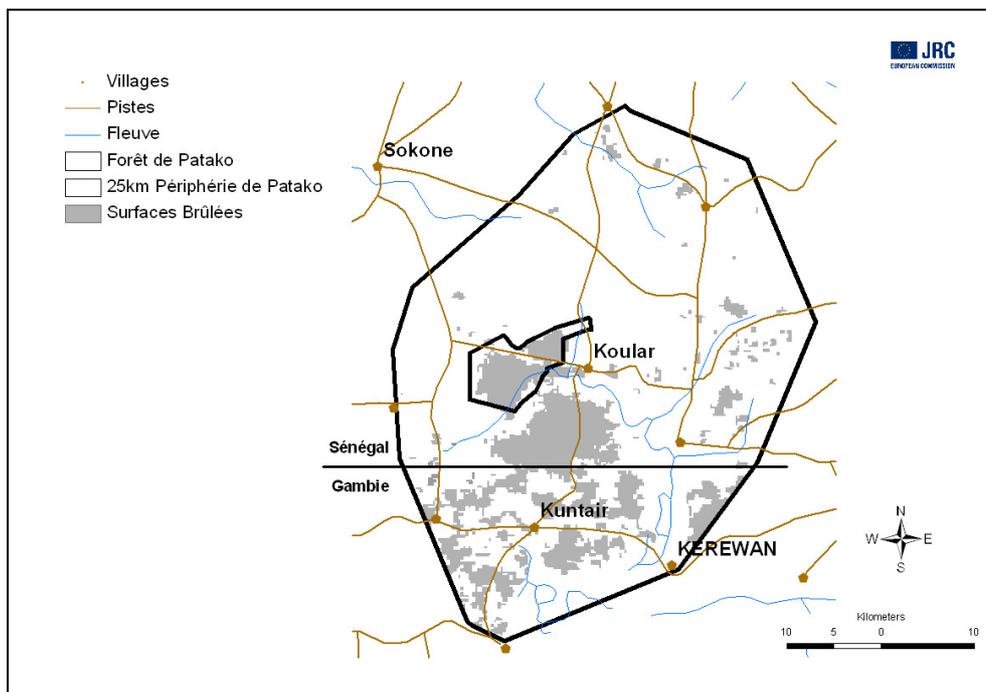


Figure 22. Cumul des surfaces parcourues par les feux dans la forêt classée de Patako (Sénégal), et la zone périphérique des 25 km, pendant la saison sèche 2007-2008.

7. Les sites du réseau SUN dans l'espace *soudanien*

Trente parcs nationaux [classés en catégorie II ; IUCN, 2004] font partie de l'espace soudanien d'Afrique sub-saharienne. Ils sont distribués géographiquement du Sénégal à l'Ethiopie et recouvrent donc des situations très variées sur le plan écologique et en matière de gestion. Malgré ce, il est intéressant d'estimer, sur le plan de la dynamique des feux, où se situent les aires protégées du réseau SUN dans cet ensemble.

Saisonnalité et densité des feux

La moyenne du nombre mensuel de feux pour 1000 ha a été calculée pour les six mois de la saison de brûlis [octobre à mars], pour trois années consécutives [2004-05, 2005-06 et 2006-07], sur les 30 parcs nationaux de l'espace soudanien. La figure 23 présente la saisonnalité moyenne de ces parcs et la saisonnalité des 5 sites SUN pour la saison 2007-08. La forêt classée de Patako n'est pas considérée dans l'analyse car elle ne présente pas de saisonnalité particulière.

La saisonnalité des feux dans les sites SUN ne diffère pratiquement pas de la saisonnalité moyenne des parcs du domaine soudanien. Le pic d'activité moyen du domaine soudanien s'observe entre novembre et décembre, ce qui correspond à la situation prévalant sur les sites SUN : le ranch de Nazinga et les 3 composantes nationales du parc du W montrent un pic d'activité en novembre tandis que celui de la forêt de Boulon s'observe en décembre.

Les sites SUN se différencient plus en termes de nombre d'épisodes de feu par unité de surface : Nazinga, le W-du-Benin, le W-du-Burkina et Boulon ont une densité de feux supérieure à la moyenne soudanienne au moment du pic saisonnier ; tandis que le W-du-Niger est en dessous. Après le pic d'activité, la forêt de Boulon garde des valeurs de densité supérieures à la tendance moyenne tandis que les 4 autres sites SUN ont des densités systématiquement inférieures à la valeur moyenne.

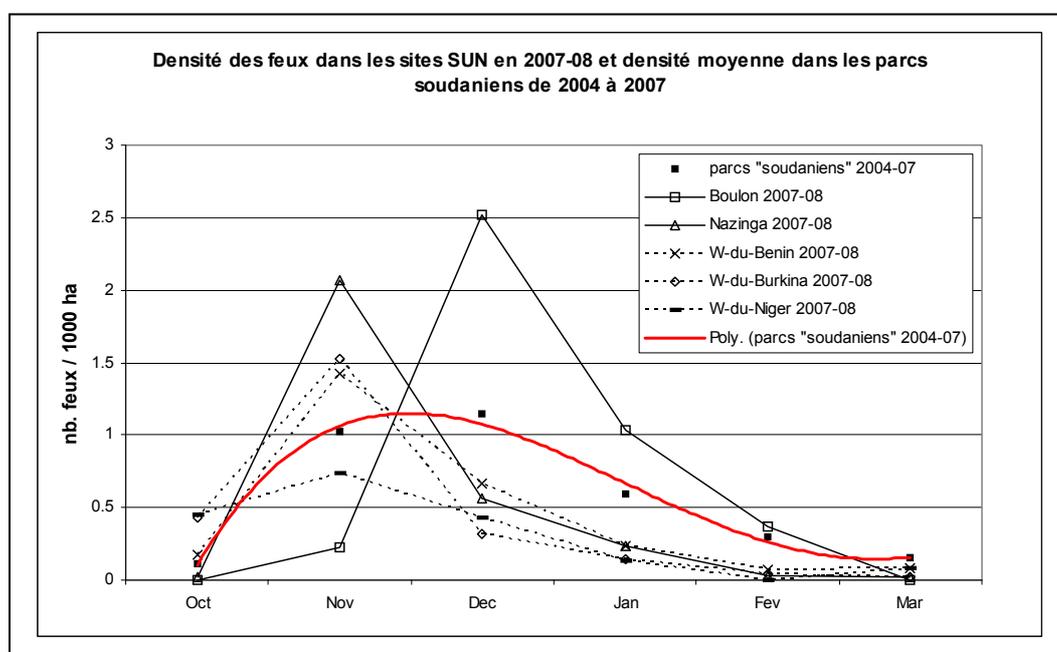


Figure 23. Densité des feux dans les sites SUN durant la saison sèche 2007-2008. Comparaison avec la densité moyenne dans les parcs soudanien (30 parcs) de 2004 à 2007.

Indice de Spécificité

En fin de saison 2007-08, les sites SUN ont un indice de spécificité en général supérieur à celui des autres aires d'Afrique de l'Ouest et Centrale (figure 24). L'indice très élevé du W-du-Niger correspond à une situation extrême dans laquelle le parc se différencie fortement de la zone agricole environnante. Les autres aires protégées peuvent être divisées en 3 groupes :

- un 1^{er} groupe dont l'indice de spécificité est supérieur à 2: la densité des feux y est au moins le double de celle observée dans la zone périphérique des 25 km. Ces aires protégées se différencient nettement du milieu environnant en termes de disponibilité et d'agencement spatial du combustible. Il y a un risque certain d'isolement de l'aire protégée. On retrouve dans cette catégorie les 3 composantes du parc du W ainsi que la forêt classée de Boulon.
- un 2^{ème} groupe dont l'indice est compris entre 1 et 2: ce qui indique une certaine similitude de mode d'occupation du sol entre l'aire protégée et la zone environnante. On ne peut donc parler d'isolement, mais seul un suivi sur quelques années pourrait préciser la dynamique en cours. Par ailleurs, il est permis de penser que la gestion des brûlis est sensiblement la même dans et à la périphérie de ces aires protégées. On retrouve dans cette catégorie des aires très différentes comme le parc de Digya [Ghana], le Niokolo-Koba [Sénégal] ou la réserve de Bomu [RDC]. Le parc de Zakouma [Tchad] est un cas particulier puisqu'il est totalement entouré par une autre aire protégée : la réserve de faune de Bahr Salamat.
- enfin, les aires protégées présentant un indice inférieur à 1, indiquant une densité de feux supérieure à la périphérie. Seul le parc de la Boucle de la Pendjari se trouve dans cette catégorie. Il ne semble pas y avoir de risque d'isolement de ce parc. Mais là encore, seul un suivi sur plusieurs années permettrait de mettre en évidence la tendance en cours.

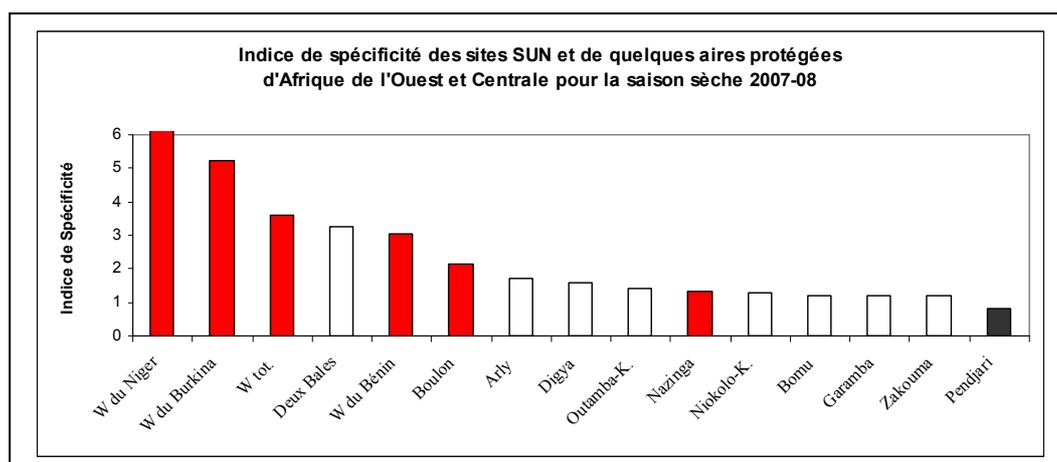


Figure 24. Indice de Spécificité des sites SUN et de quelques aires protégées d'Afrique de l'Ouest et Centrale pendant la saison sèche 2007-2008 : octobre 2007 à avril 2008.

Les indices de spécificité des trois composantes du parc du W observés de 2004 à 2007 ont été comparés à ceux des autres parcs nationaux de l'espace soudanien (figure 25). Les parcs du W figurent toujours dans les valeurs les plus élevées. Ce qui confirme l'observation faite pour la saison 2007-08. Par ailleurs, à l'exception de la saison 2005-06, la tendance est à l'augmentation de l'indice depuis 2004 (tableau 7). Ces 4 années de suivi ne suffisent pas pour conclure à un isolement croissant de l'ensemble du parc du W mais la situation semble tout de même inquiétante. D'autant plus qu'une autre étude, basée sur le changement du mode d'occupation des terres (Clerici et al., 2007), aboutit à la même conclusion.

	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08
W-du-Bénin	2.25	2.08	2.59	3.03
W-du-Burkina	3.43	3.07	3.82	5.24
W-du-Niger	20	12.1	24.73	62.7

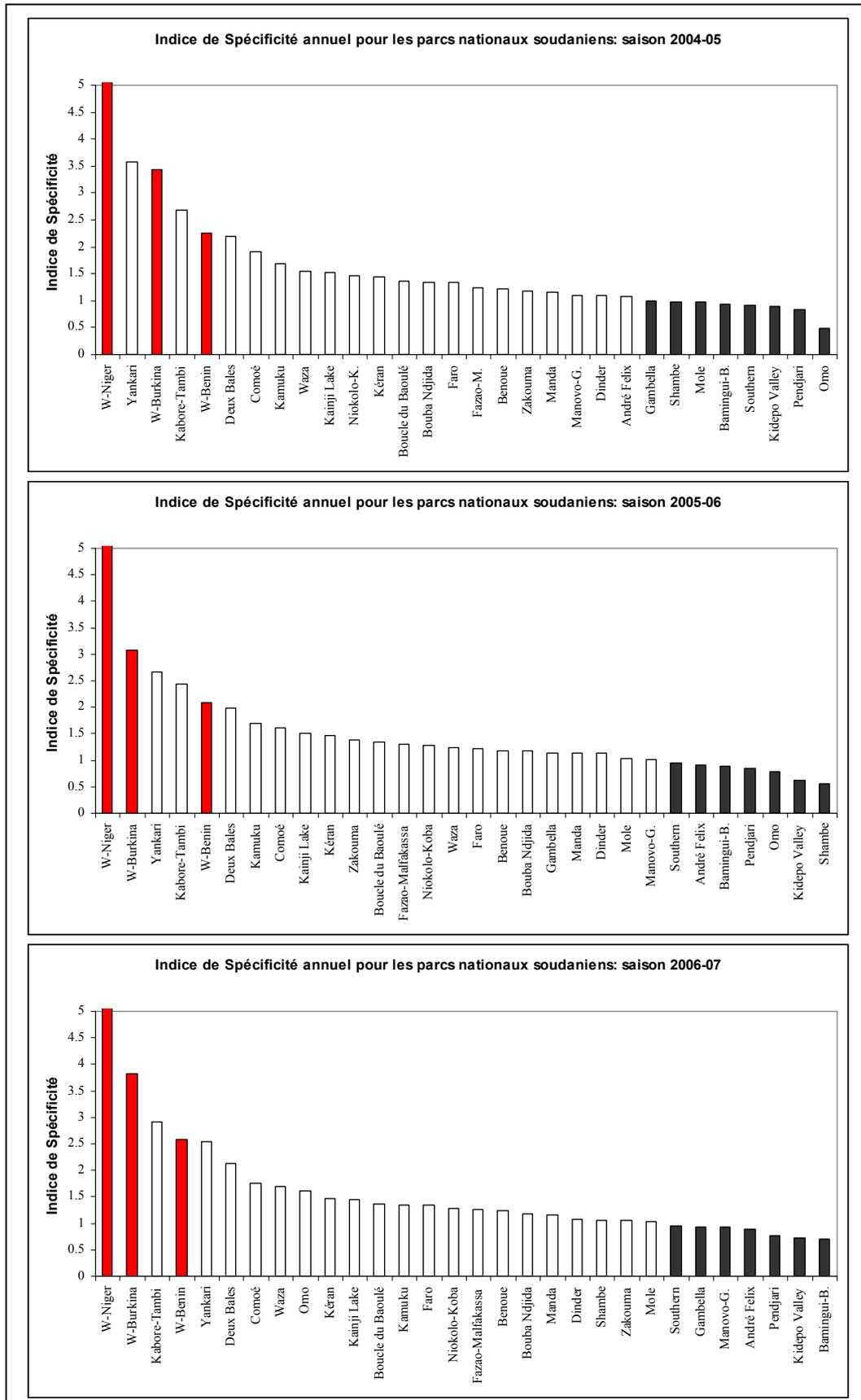


Figure 25. Indice de Spécificité des 30 parcs nationaux soudaniens durant les 3 saisons sèches 2004-05, 2005-06 et 2006-07. Les 3 composantes du parc du W sont indiquées en rouge.

8. Perspectives pour le suivi des brûlis dans les aires protégées d'Afrique de l'Ouest

Le suivi des brûlis peut constituer une approche très efficace, bien qu'indirecte, pour l'évaluation de la situation environnementale prévalant dans les aires protégées et pour leur gestion. Pour cela, il faut i) collecter et organiser les données « feu » ii) les élaborer pour en retirer l'information recherchée iii) mettre ces informations à disposition des utilisateurs.

Les données « feu »

La procédure de traitement mise en place par le CCR s'appuie sur :

- l'interrogation automatique journalière de la base de données « anomalies thermiques » développée par l'université du Maryland en collaboration avec la NASA [<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>]. Cette base de données fournit la position géographique des feux ainsi que leur date et heure de détection.
- le traitement et l'analyse d'images TERRA-AQUA/MODIS à 250 m de résolution pour la détection et la cartographie des surfaces brûlées. Réalisée au CCR, cette opération ne peut être automatisée.

Les produits de sortie de cette procédure sont :

- a) des cartes synthétiques hebdomadaires de position des feux
 - + dans chaque aire protégée et sa zone périphérique des 25 km
 - + dans l'espace régional auquel appartient l'aire protégée en question : typiquement le pays d'appartenance plus 3 ou 4 pays environnant.
- b) le décompte des feux de la semaine, le cumul depuis le début de la saison et l'évolution de l'Indice de Spécificité.
- c) des cartes synthétiques bi-mensuelles des surfaces parcourues par les feux : uniquement pour les 5 sites du réseau SUN.

Le Bulletin d'information sur les feux dans les aires protégées

Les données citées plus haut sont regroupées dans un bulletin hebdomadaire et font l'objet d'une analyse et d'un commentaire pour la semaine en cours. Le bulletin existe en deux formats (figure 26), selon que sont ou ne sont pas évaluées les surfaces parcourues par les feux. Les équipes scientifiques et techniques en charge de la surveillance et de la gestion des ressources en biodiversité ont ainsi accès à un ensemble d'informations très synthétiques et mises à jour régulièrement, tant au niveau local [celui d'une aire protégée] que régional [contexte dans lequel s'intègre l'aire en question].

Le portail WEB d'accès aux bulletins de feu

Le CCR a mis en place un portail d'accès qui permet de télécharger le bulletin en format PDF ainsi que les fichiers de localisation des feux [en format shape] pour les utilisateurs qui voudraient les intégrer à un Système d'Information Géographique. Accessible à l'adresse [<http://bioval.jrc.ec.europa.eu/>], le portail permet de choisir l'aire protégée, la saison de feu [depuis octobre 2007] et la semaine [d'octobre à mars pour les aires protégées de l'hémisphère Nord ; d'avril à septembre pour celle de l'hémisphère Sud].

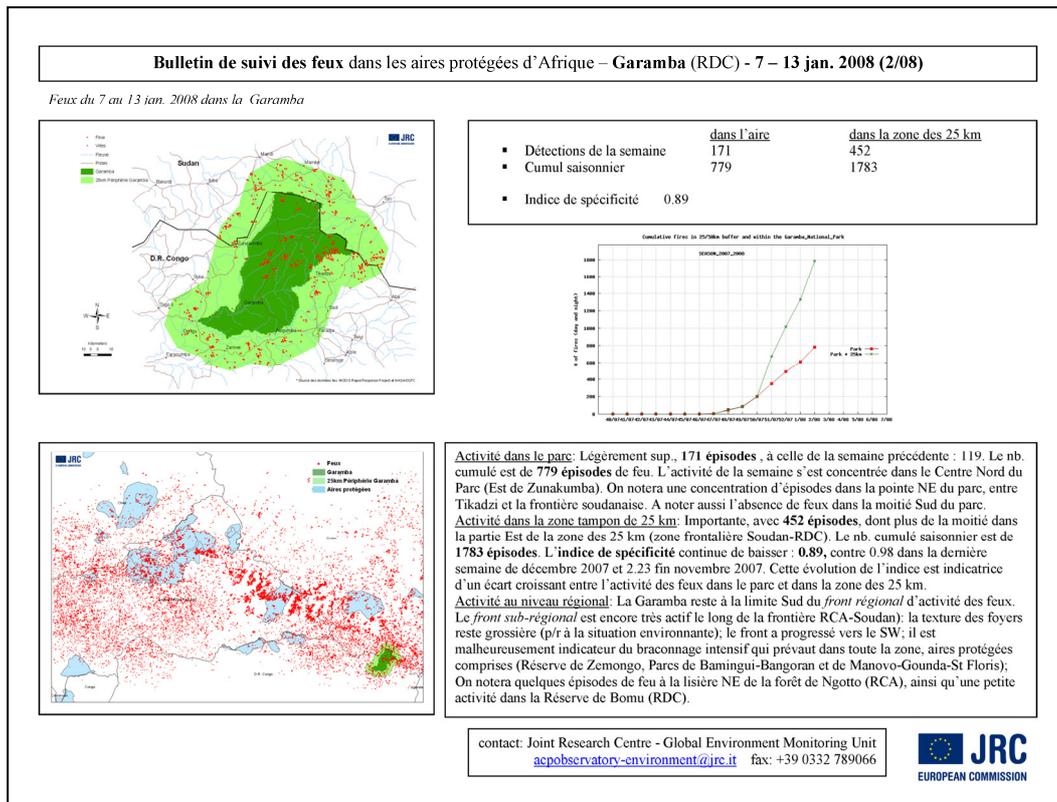
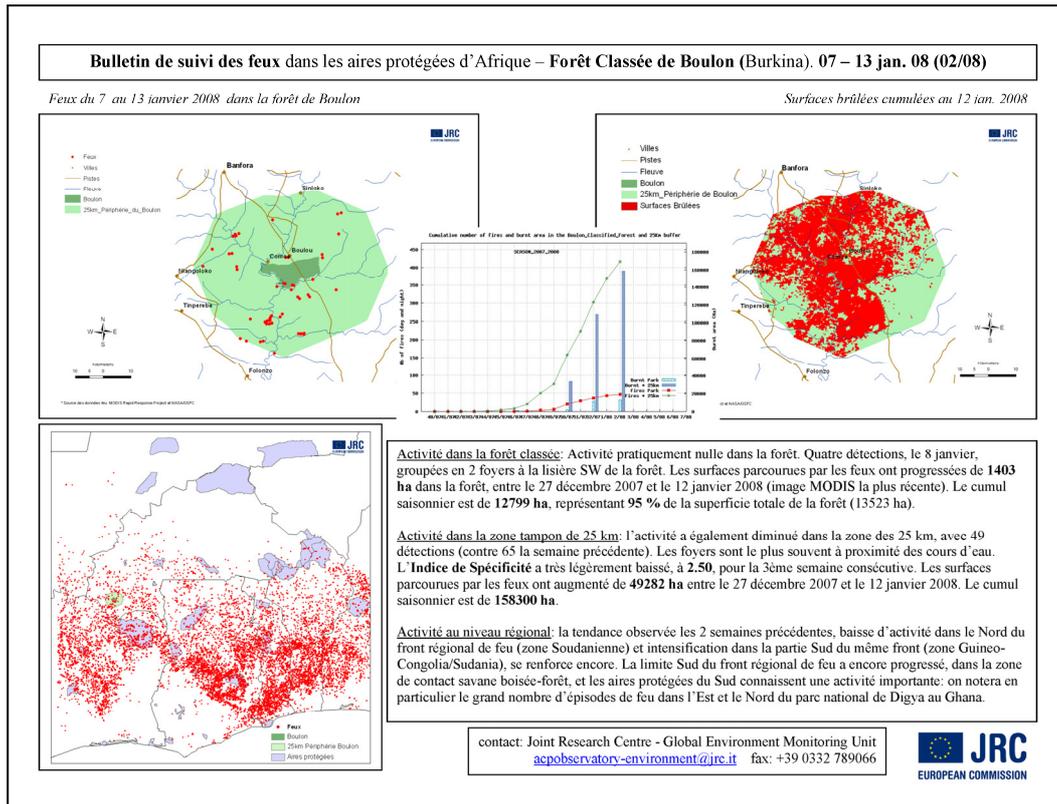


Figure 26. Bulletins hebdomadaires de suivi des feux dans les aires protégées d'Afrique subsaharienne : avec (haut) ou sans (bas) estimation des surfaces brûlées.

Au stade actuel [novembre 2008], le CCR effectue un suivi des épisodes de feu sur 18 aires protégées d'Afrique de l'Ouest et Centrale (cf. section 1.2 - tableau 3). Les fichiers hebdomadaires de localisation des feux sont disponibles depuis octobre 2007 pour ces 18 aires. Des synthèses mensuelles, et non plus hebdomadaires, existent aussi depuis octobre 2004.

Les bulletins hebdomadaires ne sont par contre établis que pour les sites du réseau SUN [forêts classées de Patako et de Boulon ; Parc transfrontalier du W], le ranch de Nazinga et les parcs nationaux de Zakouma [Tchad], de la Garamba [RDC] et d'Upemba [RDC].

L'objectif à moyen terme est de transférer cet ensemble d'outils de suivi des feux vers les utilisateurs en Afrique. Que ce soit les membres du réseau WARN, en ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest, ou plus largement les institutions à vocation régionale du réseau AMESD qui ont exprimé un besoin en matière de suivi des feux [le centre régional AGRHYMET, par exemple].

Références bibliographiques citées dans le texte

- Bond WJ, Archibald S, 2003.
Confronting complexity: fire policy choices in South African savanna parks.
International Journal of Wildland Fire, **12**, 381-389.
- Clerici, N., 2006.
Monitoring and Assessing Fire Impacts and Land-cover Change in Tropical and Subtropical Ecosystems Using Satellite Remote Sensing and GIS Techniques.
JRC Scientific and Technical Research series. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 22462 EN, 2006.
- Clerici, N., Bodini, A., Eva, H., Grégoire, J-M., Dulieu, D. & Paolini, C., 2007.
Increased Isolation of Two Biosphere Reserves and Surrounding Protected Areas (WAP Ecological Complex, West Africa).
Journal for Nature Conservation, 15 (1), 24 January 2007, [doi:10.1016/j.jnc.2006.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jnc.2006.08.003), pages 26-40.
- Dulieu, D. , 2004.
La végétation du Complexe WAP.
in Lamarque, F. 2004. Les grands mammifères du Complexe WAP, pp 16:24. ECOPAS press.
- Eva, H.D., Grégoire, J-M. and Mayaux, Ph., 2004.
Soutien à la gestion des feux dans les aires protégées d'Afrique – Contribution du Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne.
JRC Scientific and Technical Research series. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg,, EUR 21296 EN, ISBN 92-894-8192-7, 63 pp.
- GOFC-GOLD, 2007.
<http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/networks.html>
- Grégoire, J-M., et Simonetti, D., 2007.
Dynamique des brûlis dans le Parc Régional du W, le Parc National de La Boucle de la Pendjari et la Réserve d'Arly - Implications pour la gestion de ces aires protégées. JRC Scientific and Technical Research series. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, – ISSN 1018-5593, EUR 22934 FR
- Hartley, A., Nelson, A., Mayaux, P. and Grégoire, J-M., 2007.
[The Assessment of African Protected Areas](#)
JRC Scientific and Technical Research series. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 22780 EN.
- IUCN, 2004.
Guidelines for Protected Area management categories. IUCN, Gland, Switzerland and WCMC, Cambridge, UK.
- Lungren, C.G., 1997.
Guide technique pour le plan de brûlis au ranch de gibier de Nazinga. Rapport technique interne - Projet Nazinga, ADEFA, Ouagadougou, 53 p.
- Lungren, C.G., 2003.

Gestion du feu.
in Schéma Général d'Aménagement, Programme Régional Parc W / ECOPAS (Ecosystèmes Protégés en Afrique Soudano-Sahélienne), janvier 2003, p. 44.

Mbow, C., Nielsen, T. T. & Rasmussen, K., 2000.
Savanna fires in east central Senegal: Distribution patterns, resource management and perceptions.
Human Ecology, **28**(4): 561-58.

Sawadogo, L., Tiveau, D., Nygård, R., 2005.
Influence of selective tree cutting, livestock and prescribed fire on herbaceous biomass in the savanna woodlands of Burkina Faso, West Africa.
Agriculture, Ecosystems & Environment, **105**, 1-2, pp:335-345.

SUN project, 2007.
<http://www.sunproject.dk/index.asp>

UNEP-WCMC, 2005.
World database on protected areas. United Nations Environment Program - World Conservation Monitoring Centre.

van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Gobron, N., and Dolman, A.J., 2008.
Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics.
Global Biogeochemical Cycles, vol. 22, GB3028, doi:10.1029/2007GB003122, 2008

van Wilgen BW, Trollope WSW, Biggs HC., Potgieter ALF, Brockett BH, 2003.
Fire as a driver of ecosystem variability.
in The Kruger experience: ecology and management of savanna heterogeneity. (Eds J du Toit, H Biggs, K Rogers) pp. 149-170. (Island Press: Washington, Covelo, London. ISBN 1-55963-981-4)

European Commission

EUR 23685 FR – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability

Title: Dynamique des brûlis dans des aires protégées du réseau SUN.

Saison sèche 2007-2008 : octobre 2007 – mars 2008

Author(s): J-M. Grégoire, D. Simonetti

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

2008 – 44 pp. – 21 x 29.7 cm

EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593

Résumé

Le CCR a effectué un suivi systématique des feux dans les 5 aires protégées du réseau SUN [forêts classées de Patako et de Boulon, respectivement au Sénégal et au Burkina Faso ; parcs nationaux du W-du-Bénin, W-du-Burkina et W-du-Niger] pendant la saison sèche 2007-2008, sur la base d'images à moyenne résolution acquises par le capteur MODIS installé à bord des satellites Terra et Aqua. L'élaboration de ces données a permis i) l'inventaire hebdomadaire des épisodes de feu ; ii) la cartographie des surfaces brûlées, en moyenne deux fois par mois ; iii) l'établissement d'un Bulletin Hebdomadaire d'Information sur les feux, à destination des membres du réseau et des équipes de gestion des aires protégées concernées. Par ailleurs il est montré comment le rapport entre la densité des feux [nombre de feux / 1000 ha] à l'extérieur et à l'intérieur d'une aire protégée constitue un bon indicateur de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant, en termes de disponibilité et d'agencement spatial du combustible. C'est une indication i) de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire; ii) de son degré d'isolement; iii) de son niveau de protection. Dénommé *Indice de Spécificité* dans ce document, ce rapport constitue un bon outil de suivi et de comparaison des aires protégées. Il a été utilisé pour comparer les situations observées dans les aires du réseau SUN avec celles prévalant dans les 33 autres parcs nationaux du domaine *soudanien* d'Afrique sub-saharienne.

The mission of the JRC is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, whether private or national.

