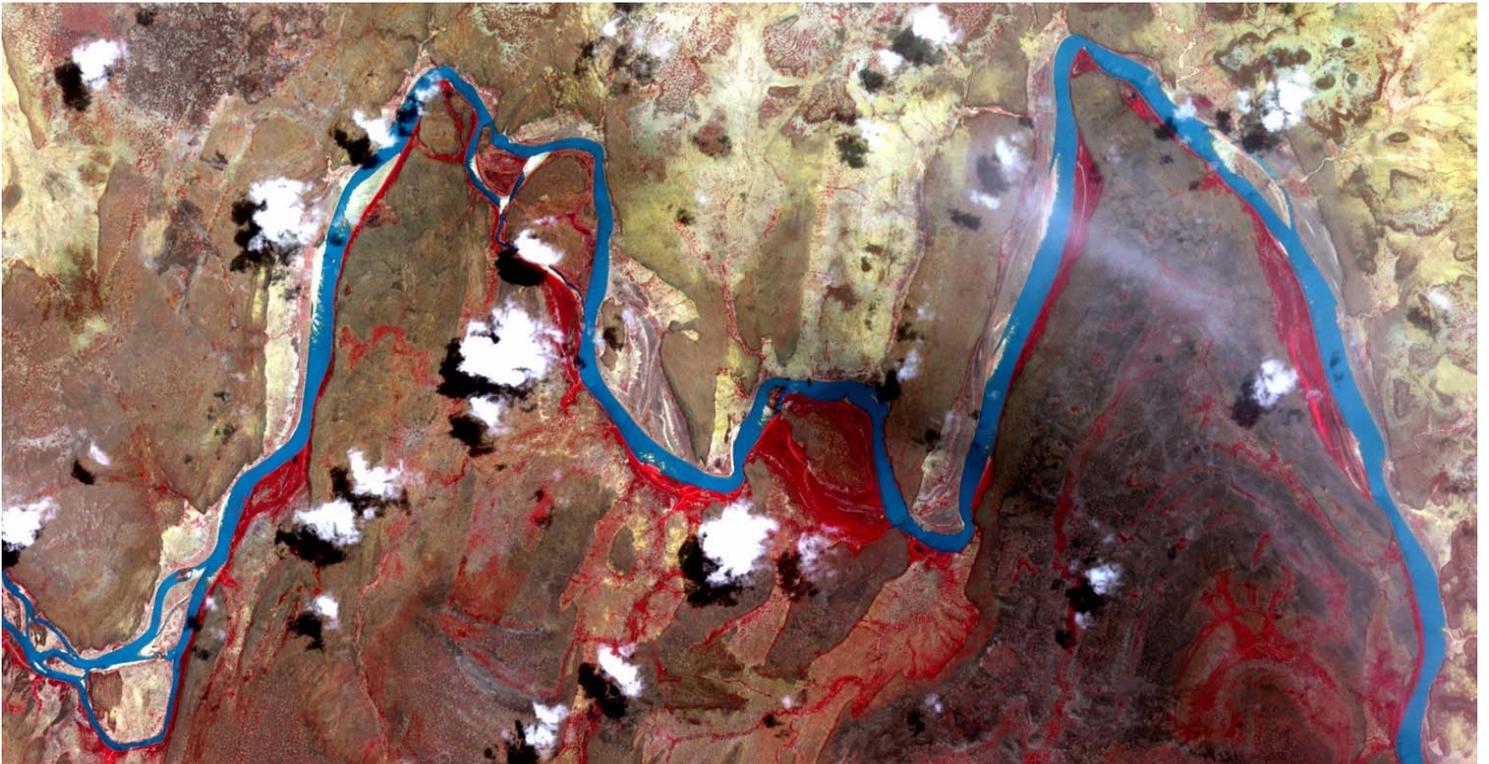


Dynamique des brûlis dans le Parc Régional du W,
le Parc National de La Boucle de la Pendjari et la Réserve d'Arly

Implications pour la gestion de ces aires protégées



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: Jean-Marie Grégoire, Global Environment Monitoring Unit, TP. 440, JRC, Ispra (VA), I-21020

E-mail: jean-marie.gregoire@jrc.it

Tel.: +39 0332 789215

Fax: +39 0332 789073

<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.

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 40526

EUR 22934 FR

ISSN 1018-5593

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

© European Communities, 2007

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

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

Document préparé par
Jean-Marie Grégoire et Dario Simonetti

Contributions de
Hugh Eva, Anne Fournier, Désirée Johansson,
Philippe Mayaux, M. Michielon, D. Cornelis, Paolo Roggeri et A. Zoumas

Sommaire

Résumé

Observations et conclusions essentielles

- 1 Le Parc régional du W: une composante du complexe écologique du WAP**
- 2 Gestion des brûlis dans le Parc Régional du W**
 - 2.1 Objectifs de la gestion des brûlis
 - 2.2 Plan de gestion des brûlis pour la saison 2006-2007
- 3 Le suivi satellitaire des feux dans le Parc du W: objectifs et méthodes**
 - 3.1 Inventaire des épisodes de feu
 - 3.2 Cartographie des surfaces parcourues par les feux
- 4 Caractérisation des trois saisons de brûlis: 2004-05, 2005-06 et 2006-07**
 - 4.1 Distribution temporelle des feux
 - 4.2 Agencement spatial des feux: texture des surfaces brûlées et densité des feux
- 5 Confrontation avec le plan de brûlis 2006-2007**
- 6 Perspectives pour le suivi des brûlis dans le complexe du WAP**
 - 6.1 Potentialités du système d'observation SPOT-VGT pour la cartographie des surfaces brûlées et la caractérisation de la dynamique temporelle des brûlis
 - 6.2 Perspectives à court terme

Références bibliographiques citées dans le texte

Résumé

Le parc régional transfrontalier du W (Bénin, Burkina Faso et Niger), d'une superficie de 10,300 km², fait partie du complexe écologique du WAP (30,000 km²). Le Parc du W est classé, depuis novembre 2002, réserve transfrontalière de la biosphère et bénéficie d'un soutien technique et financier de l'UE depuis janvier 2001 dans le cadre du programme Parc W – ECOPAS. La maîtrise des brûlis est un aspect essentiel dans la gestion du parc. Le CCR a donc effectué un suivi satellitaire systématique des feux durant la saison sèche 2006-2007 ainsi qu'une analyse rétrospective jusqu'en janvier 2000. Ce document présente les caractéristiques essentielles de la saisonnalité des brûlis au sein du WAP ainsi que leur distribution spatiale. Cet ensemble d'information est confronté au Plan d'Aménagement et de Brûlis souhaité par les gestionnaires du Parc du W. Les conclusions de cette étude devraient aider à la mise en place du plan de brûlis et à son adaptation progressive pour mieux répondre aux objectifs d'aménagement et de conservation du parc.

Observations et conclusions essentielles

Le Parc régional transfrontalier du W

Le parc régional transfrontalier du W comprend les trois parcs nationaux du W-du-Bénin, W-du-Burkina et W-du-Niger. Il constitue, 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, le complexe écologique du WAP qui couvre une superficie de l'ordre de 30,000 km². Le WAP a une double particularité: celle de se trouver dans la zone de transition écologique entre les domaines soudanien et sahélien, d'une part, et de une très forte pression anthropique à sa périphérie, d'autre part. Ceci fait du complexe du WAP un élément unique pour la conservation des écosystèmes de savane en Afrique de l'Ouest. Le Parc du W est classé, depuis novembre 2002, réserve transfrontalière de la biosphère et bénéficie d'un soutien technique et financier de l'UE depuis janvier 2001 dans le cadre du programme Parc W – ECOPAS.

Pourquoi une gestion des brûlis dans les aires protégées ?

Les effets de différents régimes de feu sur les formations de savanes naturelles d'Afrique sont bien connus. La fréquence de brûlis combinée à l'intensité des épisodes de feu conditionne plus ou moins directement, à situation édaphique et de pluviométrie égales, les proportions respectives des strates herbacée, arbustive et arborée. La maîtrise des brûlis est donc un aspect essentiel dans la gestion des aires protégées, car elle permet d'influer sur la diversité des formations végétales et leur répartition spatiale, et par voie de conséquence sur les habitats et plus largement sur la diversité biologique.

Les techniques d'observation spatiale peuvent-elles aider à gérer les brûlis ?

Le succès du plan de brûlis est directement lié au respect du calendrier de mise à feu et au respect de la distribution des brûlis dans le paysage à chaque étape du plan. Les gestionnaires doivent donc disposer, tout au long de l'avancée de la saison sèche, d'informations fiables quand à la localisation des épisodes de feu, la date et la surface brûlée résultante et le type de formation végétale concernée. Seul un suivi satellitaire couplé à l'utilisation systématique des Systèmes d'Information Géographique permet de rassembler cet ensemble d'information.

Le CCR a effectué un suivi systématique des feux durant la saison sèche 2006-2007, sur la base d'images à moyenne résolution (250 m) acquises par le capteur MODIS installé à bord des satellites Terra et Aqua. L'information dérivée, à savoir la date, l'heure de détection et la localisation (lat./long) de chaque épisode de feu d'une part, l'extension des surfaces parcourues par les feux d'autre part, a été transmise chaque semaine aux gestionnaires du Parc-du-W. Une analyse rétrospective a également été faite pour les 7 saisons sèches précédentes (2000 à 2007).

La distribution spatio-temporelle des feux dans les aires protégées du WAP

Les résultats de suivi satellitaire montrent une nette prédominance des brûlis très précoces et précoces qui contribuent pour 75% de l'ensemble des feux au sein du WAP. Les brûlis de pleine saison, de janvier à mars inclus, représentent en moyenne 15%. Par ailleurs, la disponibilité en combustible semble être le facteur déterminant la distribution temporelle des feux et non une stratégie de gestion des brûlis et d'aménagement de l'espace. L'analyse de la répartition diurne montre que la proportion des feux détectés la nuit dans les aires du WAP est

faible: de l'ordre de 5% en moyenne, avec un minimum de 2.3 % dans la réserve d'Arly et un maximum de 12.5 % dans la Pendjari. Le W-du-Bénin, le W-du-Burkina et la Boucle de la Pendjari montrent un pourcentage des feux de nuit de loin plus élevé à l'intérieur de l'aire qu'à sa périphérie; du simple au double. Il est probable qu'une grande partie de ces feux de nuit soit liée à des activités illégales, comme la chasse et la transumance à l'intérieur des aires protégées.

Les surfaces parcourues par les feux apparaissent en blocs homogènes très étendus à l'intérieur des aires protégées du WAP, tandis qu'elles sont petites et morcelées à l'extérieur du complexe. Ceci reflète l'agencement spatial du couvert végétal. Dense et surtout continu à l'intérieur du complexe, le couvert permet la progression des fronts de feu sur de grandes distances; seuls quelques pare-feux naturels, comme les rivières et les bas-fonds humides, limitent l'extension des surfaces brûlées. A l'extérieur du complexe, le couvert est constitué d'une mosaïque d'espaces cultivés et de jachères plus ou moins anciennes. La charge en combustible, la strate herbacée, est ainsi très inférieure à celle existant dans le complexe.

Le nombre de feux par unité de surface est systématiquement supérieur dans l'aire, pour toutes les aires du WAP, à l'exception de La Boucle de la Pendjari. Cette densité des épisodes de feu diminue brutalement dès la sortie de la zone protégée, dans une zone périphérique de 25 km, puis se stabilise ou baisse légèrement dans une zone périphérique de 50 km. Ceci reflète l'abondance et la continuité du combustible et, indirectement, le degré d'anthropisation du milieu autour des aires protégées. La grande majorité des aires protégées de l'espace soudanien montrent le même type de situation: la densité des feux y est le plus souvent supérieure dans l'aire que dans sa zone périphérique de 25 km. Seuls 8 parcs sur 26 font exception à la règle. Le rapport entre la densité des feux à l'extérieur et à l'intérieur d'une aire protégée peut donner une indication du degré de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant. Ce qui donne une indication de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire.

Confrontation avec le plan de brûlis souhaité pour la campagne 2006-2007

En 2006-2007, la grande majorité des feux se concentrent dans la période des feux précoces, de mi-novembre à mi-décembre. Cette période concentre 62%, 82% et 59% du total des surfaces brûlées sur le W-du-Bénin, le W-du-Burkina et le W-du-Niger respectivement. Les feux de pleine saison contribuent pour 23%, 4% et 21% sur les trois composantes. Les feux très précoces contribuent pour 16%, 14% et 20%. Le facteur accessibilité, combiné à l'agencement du combustible herbacé, joue un rôle majeur dans la distribution spatio-temporelle des brûlis. La densité et la position des pistes dans le contexte géomorphologique semble être le facteur déterminant cette distribution; tandis que la teneur en eau du combustible herbacé, et donc la position des brûlis dans la topo-séquence, ne semblent intervenir qu'en deuxième lieu. En résumé, force est de constater que la répartition des brûlis, telle qu'elle dérive des observations satellitales tant dans le temps que dans l'espace, ne correspond pas à ce qui est souhaité dans le Plan d'Aménagement.

Opérationnalité des systèmes d'observation de la Terre exploitables pour le suivi de la dynamique des brûlis dans les aires protégées d'Afrique de l'Ouest

L'imagerie satellitaire à moyenne résolution spatiale (~ 250 m) MODIS, et les produits qui en sont dérivés, constituent actuellement la meilleure source d'information pour le suivi des brûlis. L'imagerie satellitaire à basse résolution spatiale (SPOT-VGT ; ~ 1000 m) n'offre qu'un potentiel limité pour renforcer le suivi effectué avec de l'imagerie moyenne résolution (MODIS). Ainsi, à la fin de la saison 2006-2007, le total des surfaces brûlées détectées par VGT représente 40% de celles détectées par MODIS, sur le W-du-Burkina, sur la Pendjari et sur la Réserve d'Arly. Il est de 14% pour le W-du-Niger et 12% pour le W-du-Bénin. Par ailleurs, la dynamique temporelle, au pas de temps de 10 jours, n'est que grossièrement rendue par les produits dérivés de SPOT-VGT. Ces produits sont difficilement exploitables

comme unique source d'information pour un suivi du développement de la saison de brûlis sur le WAP. Ils peuvent cependant venir en appui aux observations moyenne résolution.

De plus, en l'état actuel, l'accès à l'imagerie et aux produits dérivés des systèmes d'observation européens à moyenne résolution (MERIS) ne peut être considéré comme opérationnel au plein sens du terme. La situation est meilleure, mais pas totalement opérationnelle puisque dépendante de projets de courte durée, pour les systèmes européens à basse résolution.

Perspectives à court terme

Le bulletin hebdomadaire des feux actifs et la cartographie bimensuelle des surfaces brûlées seront poursuivis durant la saison sèche 2007-2008. Ceci sera complété par trois nouvelles actions: i) un essai d'estimation de la repousse des herbacées, suite au passage du feu, sur des sites d'intérêt pour le projet « Mobilité de la Grande Faune » du CIRAD; ii) un essai de suivi de la reprise de la végétation, suite au démarrage des pluies; iii) enfin, l'inventaire et la cartographie des points d'eau temporaires du Parc du W seront affinés à l'aide d'imagerie à très haute résolution (SPOT 5, à 5 m de résolution).

Par ailleurs, le suivi des brûlis sur le Parc du W sera élargi à trois autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest : les forêts classées de Patako (Sénégal) et Boulon (Burkina Faso), dans le cadre du projet « Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa » (SUN), ainsi que le Ranch de gibier de Nazinga (Burkina Faso).

1 Le Parc régional transfrontalier du W: une composante du complexe écologique du WAP

La forme en W du fleuve Niger dans la zone frontalière Niger-Bénin (Figure 1) a donné son nom au parc régional transfrontalier du W qui comprend les trois parcs nationaux du W et constitue, 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, le complexe écologique du WAP (W, Arly, Pendjari – Figure 2). Cet ensemble d'aires protégées, couvrant une superficie de l'ordre de 30,000 km², a une double particularité: celle de se trouver dans la zone de transition entre les domaines soudanien et sahélien, d'une part, et de connaître une très forte pression anthropique à sa périphérie, d'autre part.

Bien que situé entièrement dans le domaine soudanien, il existe un net gradient de précipitations du Nord au Sud du complexe: de 600 mm au Nord à plus de 1000 mm au Sud. Ce qui se reflète sur le couvert végétal qui, de savane arbustive à herbacée au Nord, passe graduellement à des savanes boisées et des forêts sèches au Sud (Dulieu, 2004 ; Mayaux *et al.*, 2004). L'ouvrage de François Lamarque sur la faune du WAP (2004) présente une bonne synthèse des caractéristiques environnementales du complexe.

En terme de pression anthropique, il est essentiel de noter que le complexe du WAP se situe sur de grands axes de transhumance (Alassoum *et al.*, 1998), entre la région sahélienne et les régions soudanienne et soudano-guinéenne, et qu'il côtoie le fameux "front cotonnier" très actif dans l'Est du Burkina Faso et le Nord du Bénin.

Ces deux particularités, zone de transition écologique d'une part et forte pression anthropique d'autre part, font du complexe du WAP un élément unique en Afrique de l'Ouest.

On serait tenté de dire qu'il s'agit d'un ensemble d'aires de "protection" plus que d'aires "protégées". Le complexe du WAP a un rôle essentiel de protection de la diversité biologique de la région; ce qui lui confère un caractère irremplaçable dans le contexte écologique régional. Il constitue un excellent site pour tester les approches d'aménagement et de gestion des aires protégées d'Afrique de l'Ouest et Centrale.

Depuis janvier 2001, l'Union Européenne apporte son soutien technique et financier au "Programme de conservation Parc W – ECOPAS" (Conservation et utilisation rationnelle des Aires protégées contiguës du Bénin, du Burkina Faso, du Niger et de leurs zones d'influences) dont l'objectif premier est l'aménagement du complexe transfrontalier du W et la conservation de la biodiversité des savanes qui l'occupent. Le volet Recherche de ce programme, coordonné par le CIRAD (CIRAD, 2001), s'appuie sur un réseau de partenaires scientifiques tant en Afrique, au Bénin, Burkina Faso et Niger, qu'en Europe, particulièrement en Belgique, en France et en Italie.

Le Parc du W est classé, depuis novembre 2002, "réserve transfrontalière de la biosphère". Il a été la première aire protégée africaine à bénéficier de ce classement par l'UNESCO.

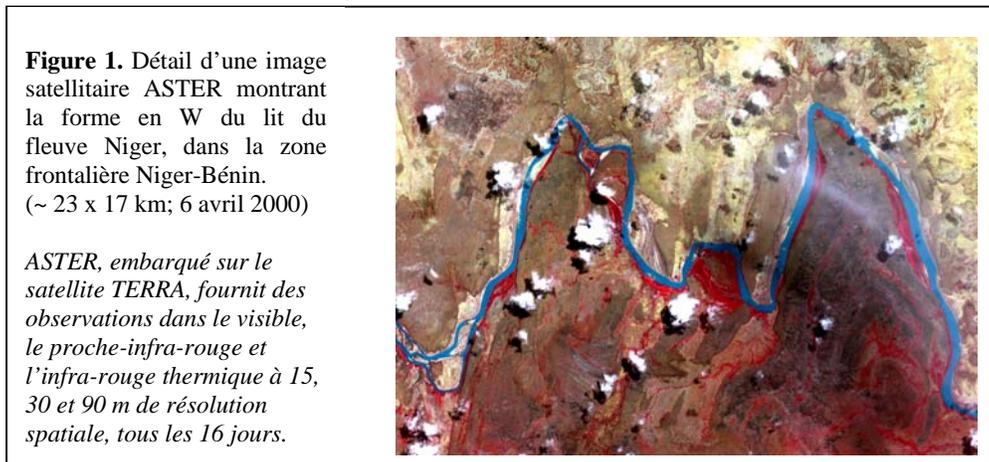
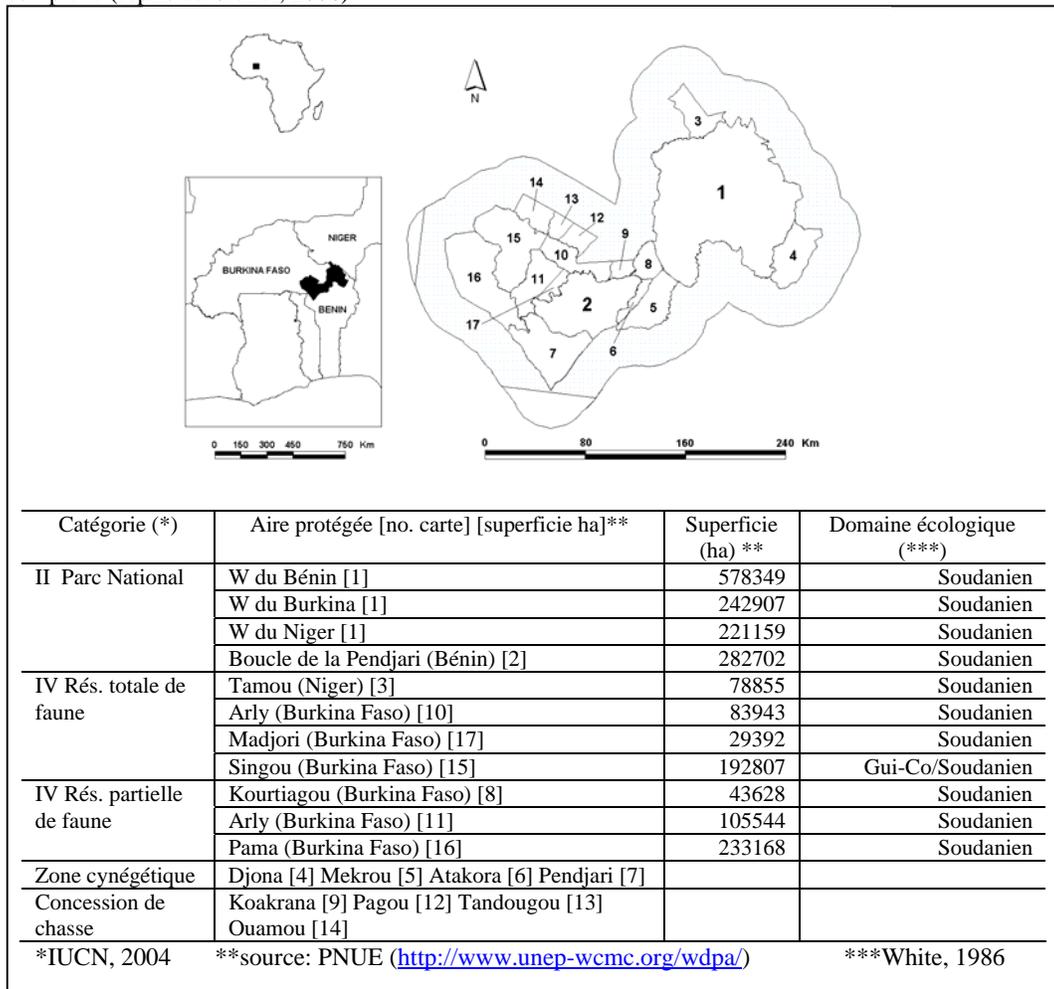


Figure 2. Aires protégées du Complexe Ecologique du WAP et zone périphérique de 30 km autour du complexe (repris de Clerici, 2006)



2 Gestion des brûlis dans le Parc Régional du W

2.1 Objectifs de la gestion des brûlis

Il est largement admis que les brûlis contrôlés constituent un excellent outil de gestion du milieu (Wein, 1991; Grégoire, 1996; Freckleton, 2004). Ils sont ainsi au coeur des programmes de gestion de nombreuses aires protégées d'Afrique australe (Trollope *et al.*, 1990; Brockett *et al.*, 2001; Bond & Archibald, 2003; van Wilgen *et al.*, 2003, 2004) ou d'Australie (Williams *et al.*, 1999; Edwards *et al.*, 2001; Yibarbuck *et al.*, 2001; Keith *et al.*, 2002; Gill *et al.*, 2003).

Leur intérêt est parfois moins bien perçu par les services techniques nationaux d'Afrique de l'Ouest et Centrale en charge de la gestion des ressources naturelles. Le feu est fréquemment vu comme un évènement néfaste dont il faut limiter les effets par l'utilisation systématique des feux dits "précoces" considérés comme un moindre mal.

En fait, les brûlis s'avèrent positifs ou négatifs, en terme d'effets sur le milieu, selon qu'ils sont provoqués au bon moment et au bon endroit. Les fameux "feux précoces" peuvent ainsi s'avérer particulièrement néfastes, lorsqu'ils favorisent une dynamique d'embroussaillage du couvert, alors que certains "feux de pleine saison" ou même "tardifs" peuvent donner d'excellents résultats en terme de gestion du milieu. De nombreux travaux décrivent et commentent les effets de différents régimes de feu sur les formations de savanes naturelles d'Afrique (Trollope & Tainton, 1986; Menaut *et al.*, 1990; Mbow *et al.*, 2000; Nielsen & Rasmussen, 2001; Roques *et al.*, 2001; Sawadogo *et al.*, 2005). Le régime de feu joue aussi un rôle fondamental dans la reconstitution des formations de savane sur jachères (Fournier *et al.*, 2001). La combinaison de la fréquence de brûlis et de l'intensité des épisodes de feu conditionne plus ou moins directement, à situation édaphique et de pluviométrie égales, les proportions respectives des strates herbacée, arbustive et arborée (Figure 3).

D'où l'intérêt de maîtriser les plans de brûlis dans la gestion des aires protégées, car ils permettent d'influer sur la diversité des formations végétales et leur répartition spatiale, et par voie de conséquence sur les habitats et plus largement sur la diversité biologique.

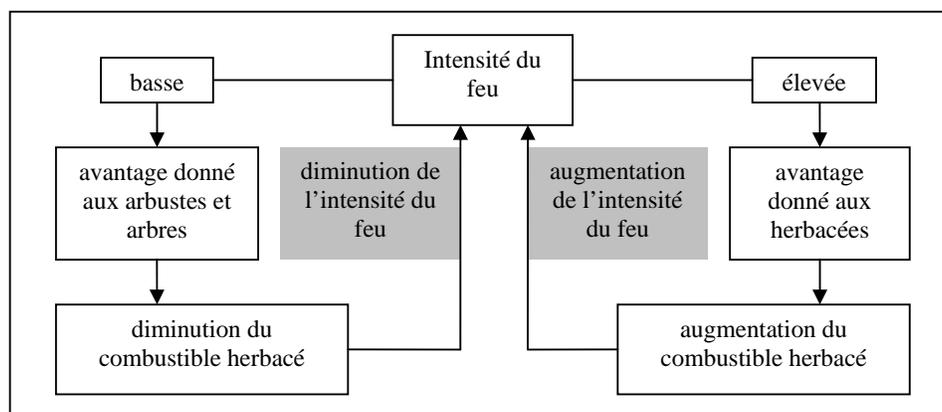


Figure 3. Représentation schématique de l'effet de l'intensité du feu sur la morphologie du couvert

Sachant que l'intensité du feu dépend très largement, pour un endroit donné, du moment dans la saison sèche où se vérifie l'épisode de feu, la gestion des brûlis vise surtout à maîtriser le calendrier de mise à feu. Une fois atteinte, cette maîtrise permet d'atteindre un triple objectif (Lungren, 1997):

- préserver certains espaces, comme les villages, les points d'eau, les forêts galeries (Figure 4), les refuges naturels pour la faune, ou encore les cultures, contre les feux non

voulus, en particulier ceux de fin de saison particulièrement intenses et difficiles à contrôler;

- b) *gérer l'habitat de la faune sauvage*, en influant directement sur la structure du couvert; soit pour maintenir ouverts certains espaces, pour répondre aux besoins de certains grands herbivores et favoriser le tourisme de vision; soit au contraire pour favoriser une certaine fermeture, appréciée par des espèces comme les éléphants (Figure 5);
- c) *gérer la ressource en pâturages naturels*, en favorisant la repousse des graminées pendant la saison sèche (Figures 6 et 7).

2.2 Plan de gestion des brûlis pour la saison 2006-2007 dans le Parc du W

Le plan de brûlis préconisé par les gestionnaires du Parc pour la saison 2006-2007 (Tableau 1) vise à bien répartir les brûlis dans le temps et dans l'espace tout au long de la saison sèche. Une description plus détaillée de ce plan se trouve dans le document préparé par Lungren (2003).

Quatre types de brûlis ont été considérés dans le plan 2006-2007: les brûlis de pare-feu et les brûlis très précoces, les brûlis précoces, les brûlis de pleine saison et les brûlis tardifs. Les brûlis de contre saison, pratiqués d'ordinaire en juillet-août, ne font pas partie du plan 2006-2007.

Tableau 1. Plan de brûlis préconisé par les gestionnaires du Parc W. (adapté de Lungren (2003))				
Type de brûlis				
	très précoce	précoce	pleine saison	tardif
Semaines après le début des brûlis	1 à 4	5 à 8	9 à 22	23 à 31
Période habituelle	novembre	décembre	janvier – mars	avril – mai
Unité de paysage visée par le brûlis	Crêtes et Hauts de pente	Versants de raccordement	Bas de versant et Bas-fonds humides	Bas-fonds humides
Impact probable:				
sur les graminées annuelles	?	?	?	risque de disparition des espèces à germination précoce
sur les graminées pérennes	diminution par concurrence des ligneux	idem précédent, si trop précoce	maintien de l'équilibre	colonisation par diminution des ligneux
sur les arbustes fourragers	tendance à la colonisation	tendance à la colonisation	maintien de l'équilibre	tendance à la disparition
sur les arbres fourragers	tendance à la colonisation	tendance à la colonisation	maintien de l'équilibre	tendance à la disparition

En résumé, selon l'objectif recherché, le brûlis doit être provoqué 1) au bon moment dans la saison sèche 2) au bon moment dans la journée et 3) au bon endroit dans le paysage. A titre d'exemple, la Figure 9 illustre cartographiquement ce plan de brûlis pour une portion du Parc du W en bordure de la rivière Mékrou, dans la zone frontalière Burkina Faso - Bénin.



Figure 4. Forêt galerie (rivière Pako, Bénin): formation à protéger des feux (photo: A. Fournier)



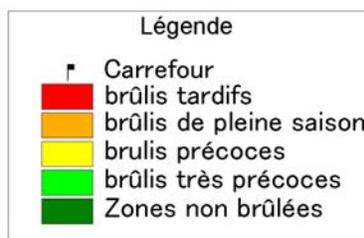
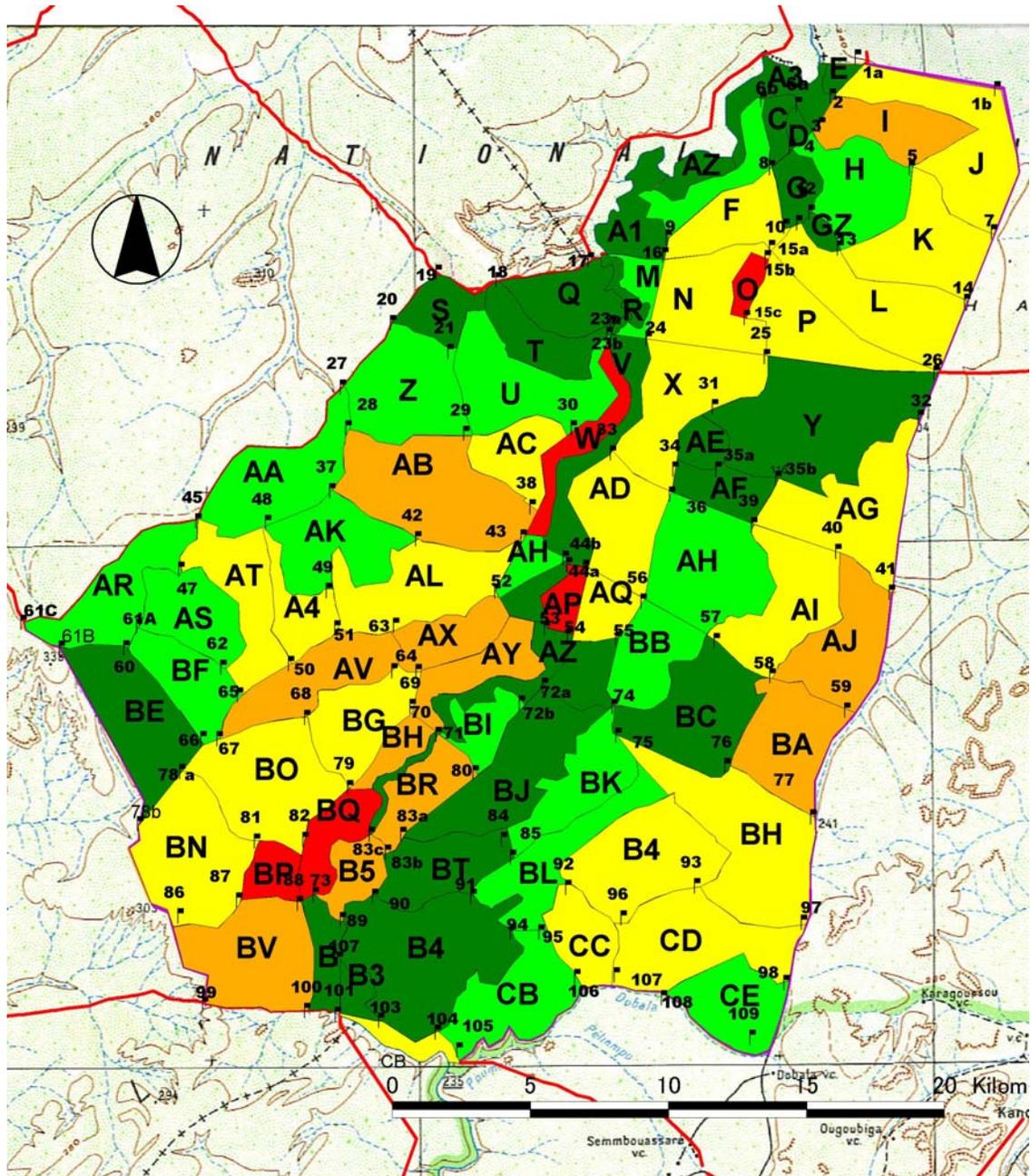
Figure 5. Savane dont la fermeture est favorisée par des feux très précoces (photo: A. Fournier)



Figure 6. Savane pré-feu n'assurant plus une bonne ressource pour les grands herbivores (photo: H. Eva)



Figure 7. Repousse, après brûlis précoce. *Andropogon gayanus* – W du Burkina (photo: A. Fournier)



Sources des données: ECOPAS, IGB
 Composition: Ph. Bouché
 Copyright ECOPAS 2005

Figure 8. Plan de brûlis préconisé par les gestionnaires du Parc du W dans la zone frontalière Burkina Faso – Bénin: distribution spatiale des types de brûlis en bordure de la rivière Mékoué

3 Le suivi satellitaire des feux dans le Parc du W: objectifs et méthodes

Le succès du plan de brûlis, et par voie de conséquence les bénéfices obtenus en terme de gestion de l'habitat naturel et de la ressource fourragère, sont directement liés au respect du calendrier de mise à feu et au respect de la distribution des brûlis dans le paysage à chaque étape du plan.

Les gestionnaires doivent donc disposer, tout au long de l'avancée de la saison sèche, d'informations fiables quand à 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.

Il est bien évident qu'un suivi au sol ne permet pas de collecter cet ensemble d'informations sur un territoire aussi vaste que celui couvert par les trois composantes du *Parc du W*. 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 systématique des Systèmes d'Information Géographique (SIG) permet de rassembler l'information recherchée par les gestionnaires du Parc: l'inventaire des épisodes de feu et une estimation des surfaces brûlées résultantes, tout au long de la saison sèche, sur base hebdomadaire (Mayaux *et al.*, 2006)

3.1 Inventaire des épisodes de feu

Le 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 2).

Tableau 2. Systèmes d'observation Terra-Aqua / MODIS

	opérationnel depuis	acquisition (heure locale)	résolution spatiale capteur - produit feu
Terra-MODIS	janvier 2000	10h30 et 22h30	250 m - 1 km
Aqua-MODIS	mai 2002	13h30 et 01h30	250 m - 1 km

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.

L'élaboration 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 WAP.

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 présents dans la zone couverte par le WAP.

Des synthèses hebdomadaires sont effectuées au CCR et mise à disposition des gestionnaires du Parc-du-W et des responsables scientifiques du projet de recherche "Hétérogénéité spatiale et mobilité de la grande faune, Burkina Faso, Niger, Bénin" (CIRAD, 2006) le lundi suivant la semaine d'observation, sur un site ftp du CCR. Ces synthèses (Figure 9) sont en format jpg pour une visualisation rapide ainsi qu'en format shape pour une analyse dans un SIG. La date et l'heure de détection, ainsi que la localisation (lat/long) sont fournies pour chaque épisode de feu détecté durant la semaine.

3.2 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 Complexe du WAP. Compte tenu de ces restrictions, l'intervalle de temps entre deux images exploitables est de l'ordre de 2 semaines (Tableau 3). 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.

Tableau 3. Images MODIS exploitées pour la cartographie des surfaces affectées par les feux dans le complexe du WAP durant la saison sèche 2006-2007

	jour d'acquisition	catégorie de brûlis correspondant
Novembre 2006	12 et 26	brûlis de pare-feu et brûlis très précoce
décembre 2006	07, 16 et 28	brûlis précoce
janvier 2007	08 et 26	brûlis de pleine saison
février 2007	02, 07 et 16	brûlis de pleine saison
mars 2007	04, 20 et 29	brûlis de pleine saison

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).

La figure 10 donne un exemple du type de document et d'information fournis aux gestionnaires du Parc du W. La procédure est la même que celle (ftp) utilisée pour transmettre les synthèses hebdomadaires de feux actifs.

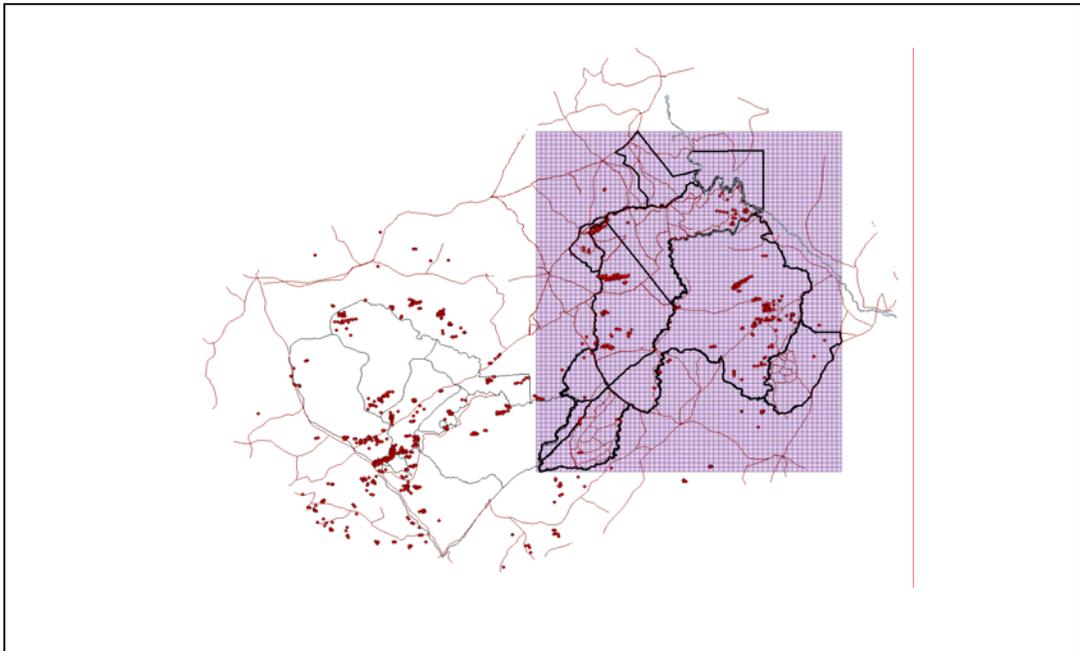
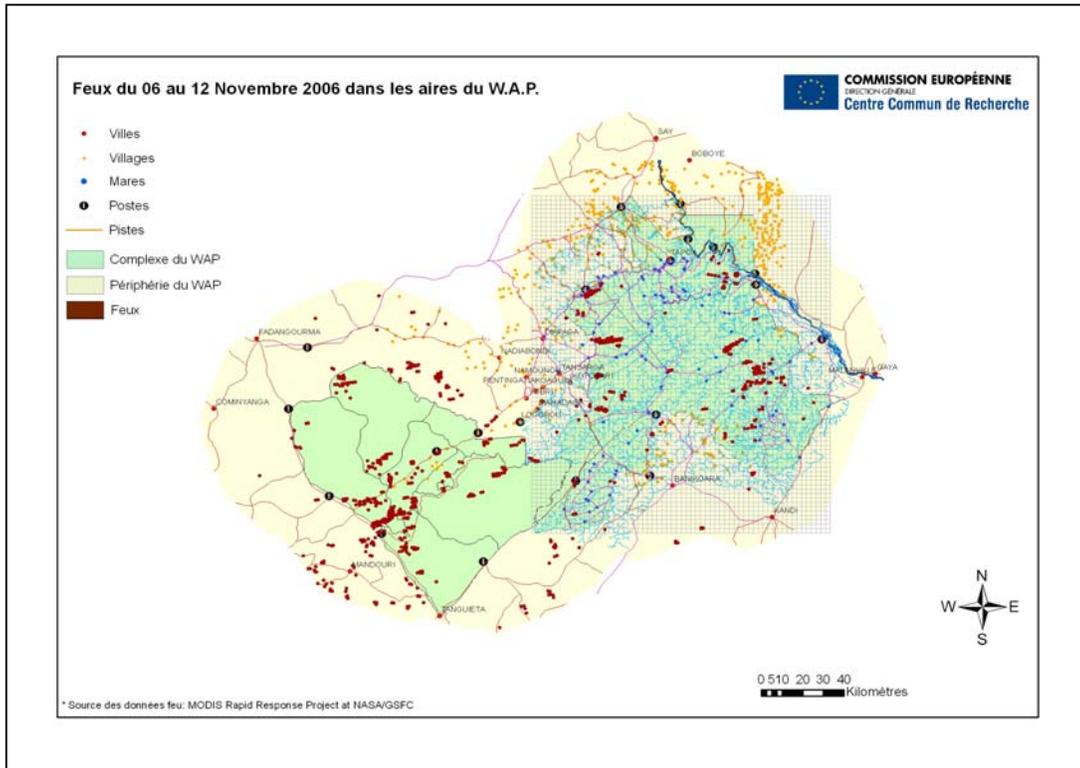


Figure 9. Localisation des épisodes de feu détectés dans et à la périphérie du WAP entre le 6 et le 12 novembre 2006. Exemple de synthèse hebdomadaire fournie aux gestionnaires du Parc du W: format image (jpg) en haut, pour une visualisation rapide; format shape, en bas, pour analyse dans un SIG.

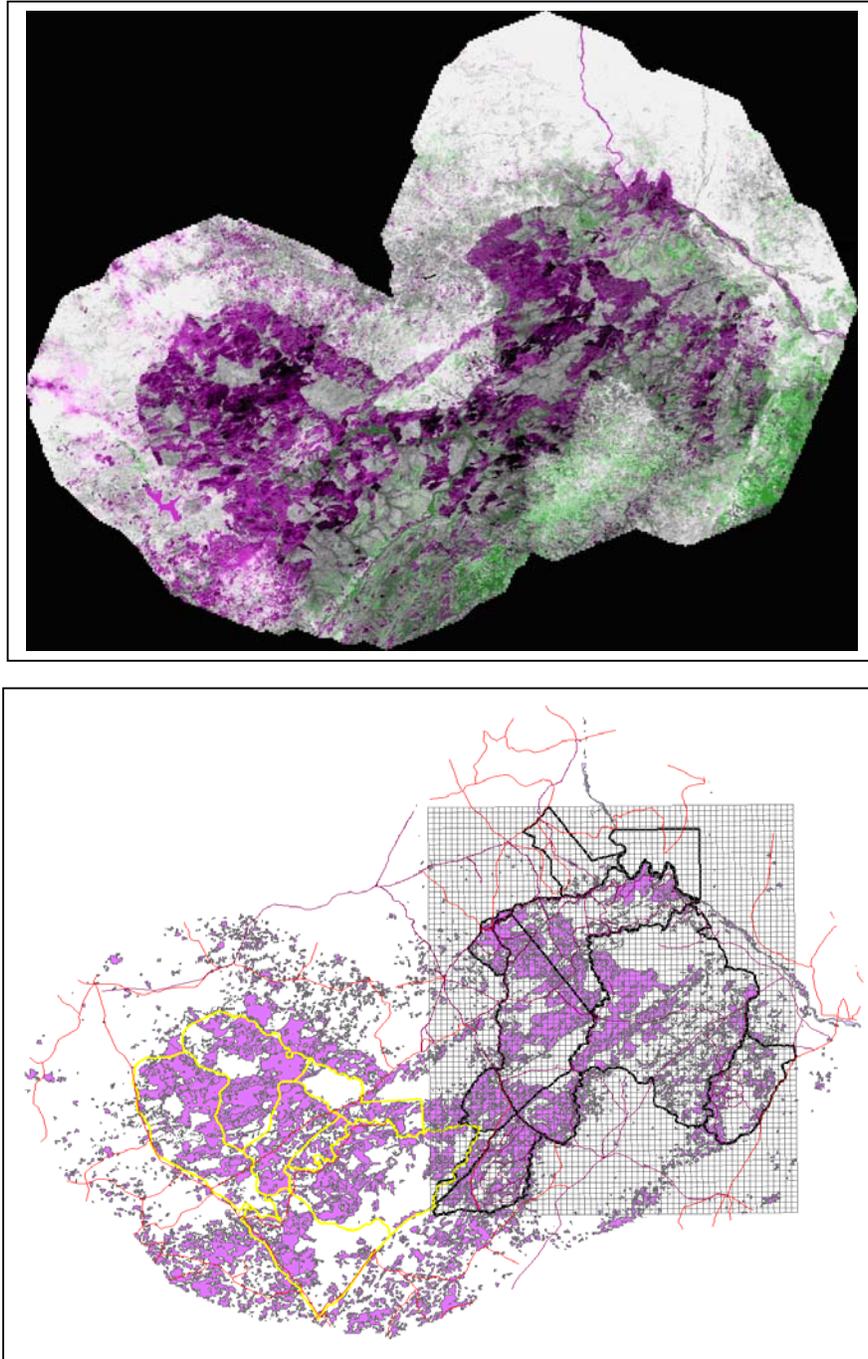


Figure 10. Surfaces brûlées dans le complexe du WAP dans la dernière semaine de novembre 2006
en haut: Image MODIS du 26/11/2006. i) en mauve: surfaces parcourues par les feux; ii) en vert: surfaces occupées par un couvert végétal vivant et relativement dense; iii) gris clair et blanc: surfaces à très faible couverture végétale. Noter que le pourtour du WAP se distingue très nettement par simple observation des surfaces brûlées beaucoup plus développées à l'intérieur qu'à l'extérieur du Complexe.
en bas: Résultat de traitement de l'image Aqua-MODIS. Cartographie des surfaces brûlées (en mauve) dans et à la périphérie du WAP. Fichier en format shape pour insertion dans le SIG du Parc du W.

4 Caractérisation des trois saisons de brûlis: 2004-05, 2005-06 et 2006-07

Bien que l'objectif premier soit l'analyse de la dynamique des brûlis au sein des trois composantes du Parc du W, il est apparu utile de compléter cette analyse par une comparaison avec les dynamiques existantes sur les autres aires protégées du WAP. L'analyse temporelle a concerné la saisonnalité et la distribution des brûlis durant la journée; l'analyse spatiale s'est appuyée sur la texture des surfaces brûlées et la densité des épisodes de feu.

4.1 Distribution temporelle des feux: saisonnalité et répartition diurne

L'analyse a été faite d'avril à mars, et non de janvier à décembre, pour être en phase avec l'année pluviométrique de l'hémisphère nord.

Saisonnalité

La saison 2006-2007 (Figure 11) se caractérise par un démarrage des brûlis en octobre, un maximum d'activité en novembre suivi d'une chute brutale en décembre, à l'exception du W-du-Bénin et de la Pendjari où la chute d'activité s'observe après le mois de décembre. On notera un petit pic secondaire en janvier sur le W-du-Niger. Le mois de mars marque la fin de l'activité pour toutes les aires du WAP.

Les saisons de brûlis 2005-2006 et 2004-2005 (Figure 11) se différencient peu de celle de 2006-2007 à deux nuances près:

- le démarrage de la saison, aussi bien en 2005-2006 qu'en 2004-2005, semble avoir été plus précoce d'un mois (septembre au lieu d'octobre) en particulier sur le W-du-Bénin;
- la saison 2005-2006 apparaît plus concentrée, malgré le démarrage précoce, y compris sur le W-du-Bénin.

Le nombre cumulé d'épisodes de feu détectés dans les aires du WAP (Figure 12) montre que, quelle que soit la saison de brûlis et quelle que soit l'aire considérée, 75% ou plus du total des feux de la saison est atteint dès le mois de décembre. La contribution des feux de pleine saison, de janvier à mars inclus, est de l'ordre de 15 % (Tableau 4).

La tendance sur les 3 saisons est donc nettement à la prédominance des brûlis très précoces et précoces qui contribuent pour 75% de l'ensemble des feux. Les brûlis de pleine saison, de janvier à mars inclus, représentent en moyenne 15%, c'est à dire une petite partie des épisodes de feu détectés au sein des aires protégées du WAP.

Tableau 4. Contributions moyennes (en %) des 4 catégories de brûlis au sein des aires protégées du WAP pendant les saisons 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007

	Très précoces (*) Oct.-Novembre	Précoces (*) Décembre	Pleine saison (*) Janvier à Mars	Tardifs (*) après Mars
W-Bénin	46 - 57 - 43 (49)	34 - 16 - 35 (28)	20 - 14 - 22 (19)	1 - 4 - ?
W-Burkina	66 - 77 - 67 (70)	29 - 7 - 23 (20)	4 - 13 - 10 (9)	1 - 2 - ?
W-Niger	66 - 83 - 59 (62)	12 - 4 - 10 (9)	22 - 5 - 32 (20)	0 - 2 - ?
Pendjari	44 - 62 - 37 (48)	26 - 15 - 44 (28)	21 - 15 - 13 (16)	8 - 0.2 - ?
Arly	57 - 62 - 72 (64)	33 - 20 - 18 (24)	8 - 8 - 10 (9)	2 - 0.2 - ?

* les périodes retenues ne sont qu'indicatives et peuvent varier d'une saison à l'autre

On notera que la saisonnalité observée sur les aires ne faisant pas partie du W, à savoir la réserve d'Arly et le parc de la Pendjari, ne diffère pas vraiment de celle observée au sein des trois parcs du W. Seule exception, la Pendjari qui montre un pic légèrement plus tardif en décembre au lieu de novembre, pendant la saison 2006-2007. Les feux précoces restent donc dominants.

On peut se demander si cette prédominance des feux très précoces et précoces résulte d'une volonté des gestionnaires du Parc du W de concentrer les brûlis d'aménagement en début de saison ?

La saisonnalité des brûlis sur le W-du-Bénin apporte un début de réponse: les feux y démarrent au même moment que sur les autres aires mais l'activité reste soutenue après le mois de décembre. Il en est de même au sein du parc de la Boucle de la Pendjari. Tout se passe comme si la disponibilité en combustible, c'est à dire essentiellement en biomasse herbacée, soit le facteur déterminant et non pas un plan de gestion des feux: l'activité des feux démarre tôt sur toutes les aires, qu'elles fassent ou non partie du W, et se prolongent dans la période des feux de pleine saison lorsque le combustible est abondant, comme au sein du W-du-Bénin et de la Pendjari.

La disponibilité en combustible semble être le facteur déterminant la distribution temporelle des feux et non une stratégie d'aménagement visant à concentrer ou à distribuer les brûlis durant la saison sèche, du moins pour les 3 saisons 2004-05, 2005-06 et 2006-07.

Les calendriers de brûlis observés à l'extérieur des aires protégées, dans une zone périphérique de 50 km (Figure 11), semblent renforcer l'hypothèse du rôle prépondérant de la disponibilité en combustible. Ainsi, les zones périphériques du W-du-Bénin et de la Pendjari montrent une contribution relativement importante des feux de pleine saison contrairement aux zones périphériques des trois autres aires considérées (W-du-Niger, W-du-Burkina et Arly). Or c'est bien la disponibilité en combustible qui différencie ces deux groupes d'aires:

- peu de combustible, et très discontinu, dans les espaces agricoles de la périphérie du W-du-Niger, du W-du-Burkina et d'Arly;
- densité de combustible élevée et plus continue, dans les espaces beaucoup moins agricoles de la périphérie du W-du-Bénin et de la Pendjari.

La contribution relativement importante des feux de pleine saison sur le W-du-Bénin, et dans une moindre mesure dans la Boucle de la Pendjari, par rapport au W-du-Burkina, W-du-Niger et Arly, s'observe dans d'autres parcs nationaux d'Afrique de l'Ouest et Centrale situés en domaine soudanien. Sur six parcs retenus pour cette analyse (Figure 13), cinq montrent une saisonnalité des feux 2006-2007 en tout point semblable à celle observée sur le W-du-Bénin: Niokolo-Koba au Sénégal, Yankari au Nigeria, Bénoué et Faro au Cameroun, Bamingui-Bangoran en République Centrafricaine. On y observe un démarrage des brûlis au mois d'octobre et une activité soutenue jusqu'en janvier ou février. Seul le parc de la Comoé en Côte d'Ivoire atteint un plateau dès le mois de décembre.

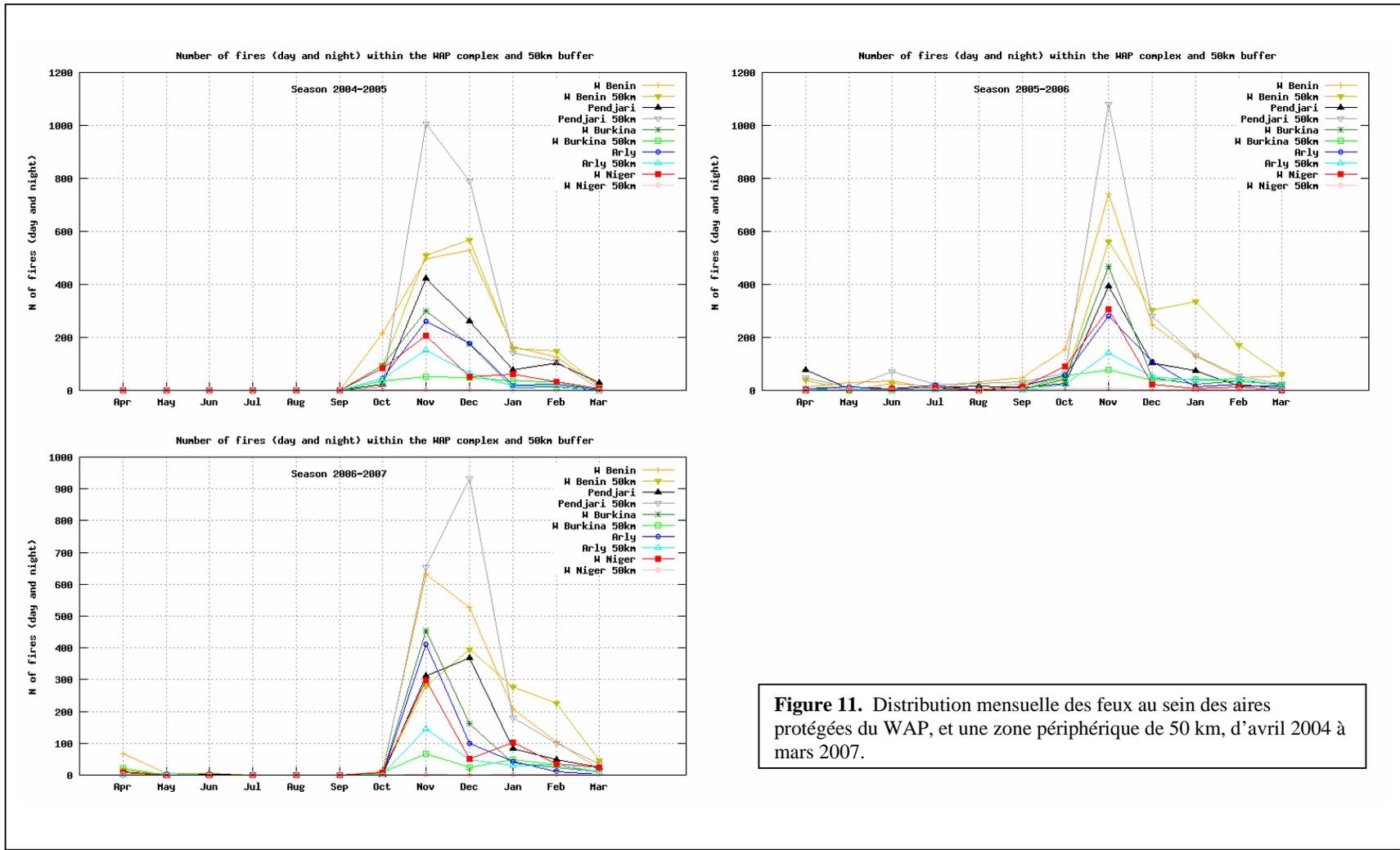


Figure 11. Distribution mensuelle des feux au sein des aires protégées du WAP, et une zone périphérique de 50 km, d'avril 2004 à mars 2007.

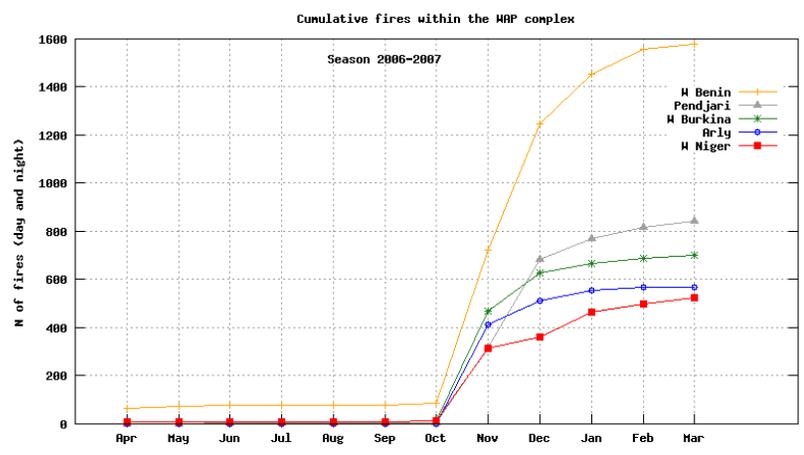
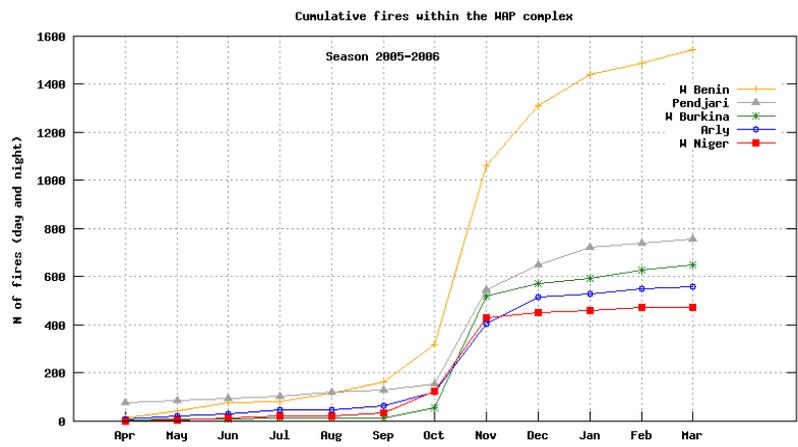
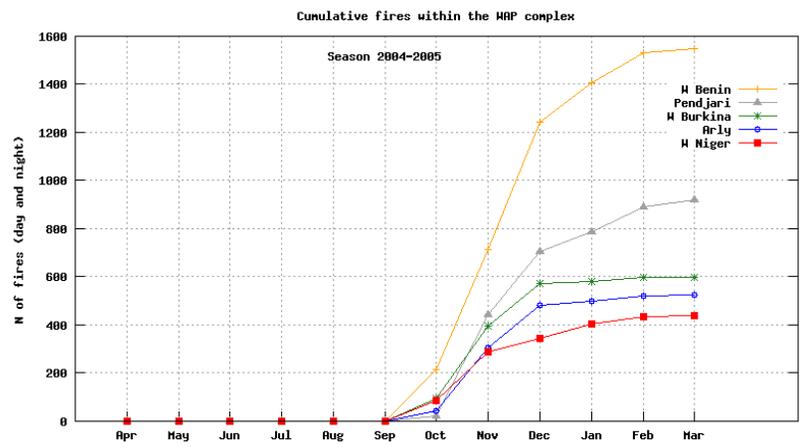


Figure 12. Nombre cumulé des épisodes de feu détectés au sein des aires protégées du WAP d'avril 2004 à mars 2007.

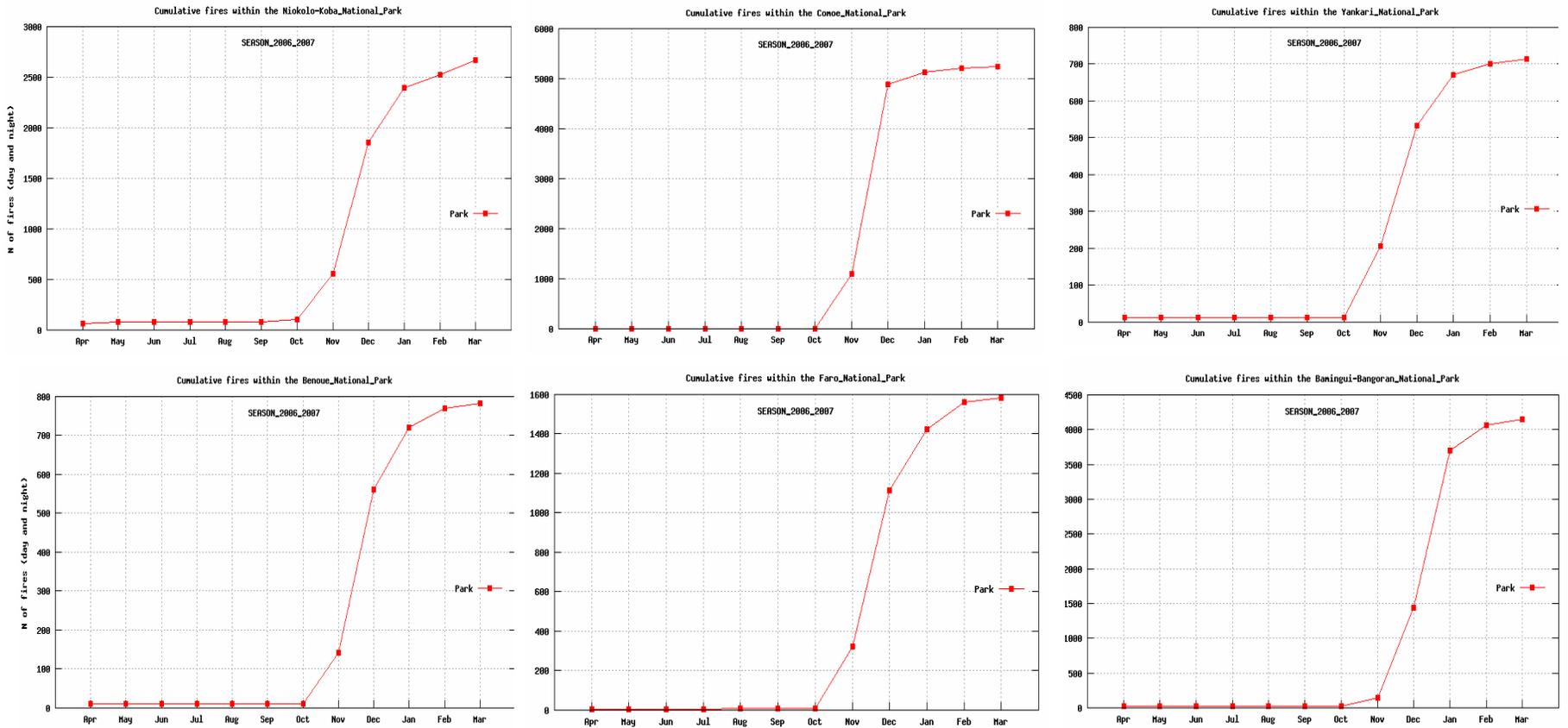


Figure 13. Nombre cumulé des épisodes de feu détectés pendant les saisons sèches 2004-2005-2006-2007 dans six parcs nationaux du domaine soudanien: Niokolo-Koba (Sénégal), Comoé (Côte d'Ivoire), Yankari (Nigeria), Benoue (Cameroun), Faro (Cameroun) et Bamingui-Bangoran (République Centrafricaine).

Répartition diurne des épisodes de feu

L'inventaire des épisodes de feu prend en compte les brûlis détectés à 10h30, 13h30, 22h30 et 01h30, en heure locale. On peut donc théoriquement faire la distinction entre les feux de jour et ceux de nuit. En pratique, les choses sont moins tranchées car un feu déclenché en fin d'après-midi, ou du moins après l'observation de 13h30, peut rester actif en fin de journée jusqu'à la première observation de nuit (22h30) et être ainsi comptabilisé dans les feux de nuit, alors qu'il s'agit d'un feu de jour. L'élément déterminant est le temps de vie d'un épisode de feu et par conséquent le type de couvert qui est brûlé: plus il y a de combustible, réparti de manière homogène et sans pare-feux naturels, plus longue sera la durée de l'épisode de feu et plus important sera le risque de confusion entre feux de nuit et feux de jour. Cela dit, il est tout de même possible d'analyser les grandes tendances de répartition des feux (Figure 14; Tableau 5). Trois informations intéressantes ressortent de cette analyse:

Le pourcentage des feux détectés la nuit dans les aires du WAP est faible: de l'ordre de 5% en moyenne, avec un minimum de 2.3 % dans la réserve d'Arly en 2006-2007 et un maximum de 12,5 % dans la Pendjari en 2004-2005 et 2005-2006. Le pourcentage observé dans le parc de la Boucle de la Pendjari est toujours le plus élevé. Le W-du-Bénin, le W-du-Burkina et la Boucle de la Pendjari montrent pour les 3 saisons un pourcentage des feux de nuit de loin plus élevé à l'intérieur de l'aire qu'à sa périphérie; du simple au double. Le W-du-Niger et la réserve d'Arly montrent une répartition inverse.

On peut se demander pourquoi le pourcentage des feux de nuit sur le W-du-Bénin, le W-du-Burkina et sur la Pendjari est systématiquement le double à l'intérieur de l'aire ? N'est-ce pas là l'indice d'activités plus ou moins illégales ? En fait, il y a deux explications possible:

- les feux de nuit peuvent être la continuation de feux déclenchés en fin d'après-midi dans les parcs, à des fins de gestion, et qui se sont poursuivis dans la nuit;
- les feux ont bien été déclenchés la nuit et il est alors très peu probable que ce soit des feux de gestion.

L'absence d'information sur la gestion des brûlis dans le WAP ne permet pas de trancher, mais il est fort probable qu'une grande partie de ces feux de nuit soit liée à des activités illégales, comme la chasse et la transumance à l'intérieur des aires protégées.

Il est intéressant de noter que la direction des changements interannuels dans le pourcentage des feux de nuit est le même à l'intérieur de l'aire et à sa périphérie. Lorsque ce pourcentage augmente ou diminue dans l'aire, il augmente ou diminue également à la périphérie. Ce qui laisse à penser que l'activité des feux de nuit dans les aires protégées ne trouve pas son origine dans un programme de brûlis mis en place par les gestionnaires du parc.

Tableau 5. Feux de nuit (en %) dans les aires protégées du WAP, de 2004 à 2007

	2004-05		2005-06		2006-07	
	intérieur	périphérie	intérieur	périphérie	intérieur	périphérie
W-du-Bénin	2.5	1	4.7	2	4	1
Pendjari	12.2	3.2	12.5	2.2	7.1	3.6
W-du-Burkina	3.2	2.2	5	2.5	6	3.2
Arly	3.5	5.1	3.4	7.5	2.3	4
W-du-Niger	4.2	11	5.8	7.5	6.9	0.2

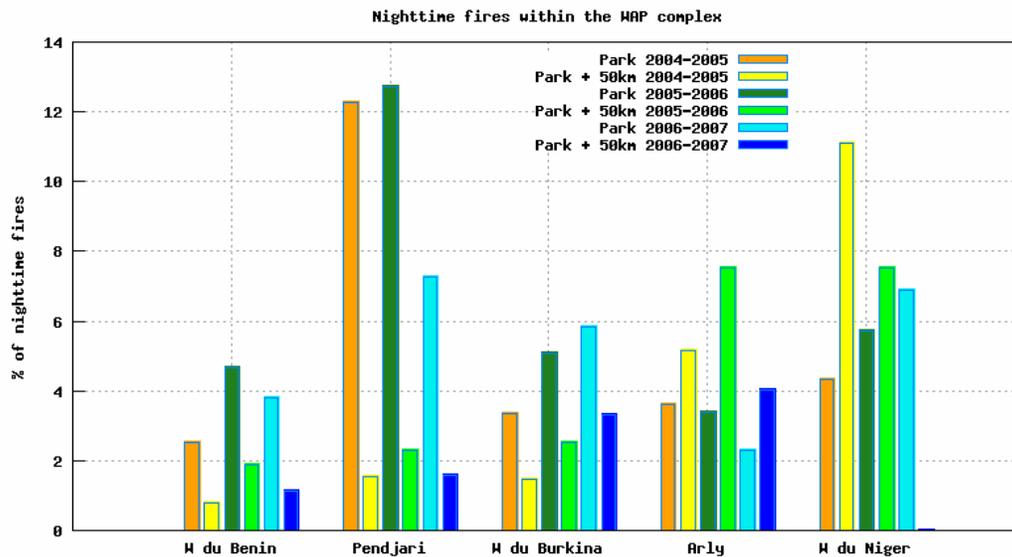


Figure 14. Contribution des feux de nuit, en pourcentage du nombre total d'épisodes de feu détectés durant la saison, dans les aires protégées du WAP et leur zone périphérique de 50 km

4.2 Agencement spatial des feux: texture des surfaces brûlées et densité des feux

Texture des surfaces brûlées

La texture apparaît très clairement sur l'imagerie MODIS (Figure 15). Les plages brûlées sont homogènes et étendues aussi bien dans les trois composantes du Parc du W que dans les réserves totales de faune, comme celle de Singou au Burkina, ou même dans les concessions de chasse, comme celles de Ouamou et Tandougou en lisière nord de la réserve de Singou.

Les surfaces parcourues par les feux apparaissent en blocs homogènes très étendus à l'intérieur des aires protégées du WAP, tandis qu'elles sont petites et morcelées 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 végétal permet la progression des fronts de feu sur de grandes distances; seuls quelques pare-feux naturels, comme les rivières et les bas-fonds humides, limitent l'extension des surfaces brûlées. A l'extérieur du complexe, le couvert est constitué d'une mosaïque d'espaces cultivés et de jachères plus ou moins anciennes. La charge en combustible, la strate herbacée, est ainsi nettement 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 et al., 2007; 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.

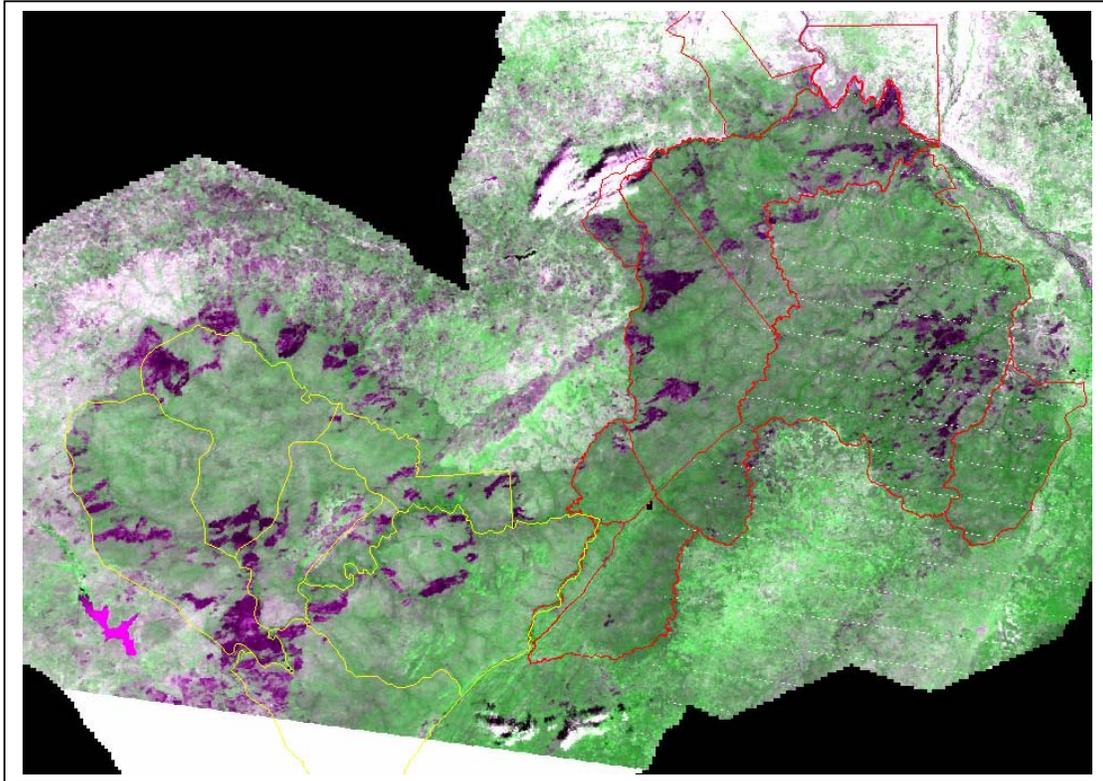


Figure 15. Surfaces parcourues par les feux (en mauve) dans les aires protégées du complexe du WAP et à sa périphérie au début de la saison de brûlis 2006-2007 (image MODIS du 12 novembre 2006)

Densité: nombre de feux pour 1000 ha

La densité des feux, exprimée en nombre d'épisodes détectés pour 1000 ha sur l'ensemble de la saison sèche, est systématiquement supérieure dans l'aire, pour toutes les aires du WAP, à l'exception du Parc de La Boucle de la Pendjari (Tableau 6; Figure 16). Ceci se vérifie pour les 3 saisons sèches considérées.

La densité des épisodes de feu diminue brutalement dès la sortie de la zone protégée, dans une zone périphérique de 25 km, puis se stabilise ou baisse légèrement dans une zone périphérique de 50 km. Elle tombe ensuite à zéro à 100 km pour la réserve d'Arly, le W-du-Burkina et le W-du-Niger. La Boucle de la Pendjari et le W-du-Bénin font exception avec des densités de feu restant élevées même à grande distance de la zone protégée.

Là encore, ceci reflète l'abondance et la continuité du combustible et, indirectement, le degré d'anthropisation du milieu autour des aires protégées. Le Parc du W-du-Burkina et surtout du W-du-Niger montrent une situation extrême dans laquelle la zone périphérique, très agricole, ne permet pas le développement d'une importante activité des feux.

D'autres aires protégées de l'espace soudanien montrent le même type de situation (Tableau 6). La densité des feux y est le plus souvent supérieure dans l'aire que dans sa zone périphérique de 25 km. Seuls 8 parcs sur 26 font exception à la règle avec des densités de feu dans la zone périphérique supérieures ou sensiblement égales à celles observées dans l'aire.

Dans l'ensemble, les aires du WAP présentent des densités de feu sensiblement inférieures à la moyenne de celles observées dans les autres parcs nationaux du domaine soudanien. La moyenne pour le WAP est de 2,6, 2,6 et 2,8 pour les saisons 2004-05, 2005-06 et 2006-07,

alors qu'elle est de 3.1, 3.0 et 3.2 pour les autres aires du domaine soudanien. Les valeurs du WAP sont par contre très semblables à celles observées sur les parcs nationaux du domaine guineo-congolais/soudanien: 2.6, 2.6 et 2.9, pour les saisons 2004-05, 2005-06 et 2006-07. A titre de comparaison, les densités annuelles de feu sur les parcs nationaux du domaine zambésien sont de 0.3, 1.8 et 1.4 pour les mêmes saisons.

Tableau 6. Densité des feux observées à l'intérieur et dans une zone périphérique de 25 km			
Aires protégées du WAP	Nombre de feux pour 1000 ha: intérieur – extérieur de l'aire		
	Saison 2004-2005	Saison 2005-2006	Saison 2006-2007
Boucle de la Pendjari	3.2 - 3.8	2.7 - 3.2	3.0 - 3.9
Arly	2.8 - 1.8	2.9 - 1.9	3.0 - 1.6
W-du-Bénin	2.7 - 1.2	2.7 - 1.3	2.7 - 1.1
W du Burkina	2.4 - 0.7	2.7 - 0.9	2.9 - 0.8
W-du-Niger	2.0 - 0.1	2.1 - 0.2	2.4 - 0.1
moyenne WAP	2.6 - 1.5	2.6 - 1.5	2.8 - 1.5
Autres parcs du domaine soudanien			
André Felix ^(b)	2.9 - 2.7	2.9 - 3.1	2.6 - 2.9
Comoé	4.4 - 2.3	4.1 - 2.5	4.5 - 2.6
Bamingui-Bangoran	3.9 - 4.2	4.1 - 4.6	3.7 - 5.3
Bénoué	4.3 - 3.5	4.2 - 3.6	4.7 - 3.8
Bouba Ndjida	4.6 - 3.4	3.6 - 3.1	4.5 - 3.8
Boucle du Baoulé	1.7 - 1.2	2.4 - 1.8	2.2 - 1.6
Deux Bales	3.2 - 1.5	2.4 - 1.2	2.2 - 1.0
Dinder	2.7 - 2.5	2.9 - 2.6	2.7 - 2.5
Faro	4.4 - 3.3	4.2 - 3.5	4.6 - 3.4
Fazao-Malfakassa	4.1 - 3.3	4.0 - 3.1	4.5 - 3.6
Gambella	2.9 - 2.9	3.9 - 3.4	3.1 - 3.3
Kabore-Tambi	3.3 - 1.2	3.2 - 1.3	3.0 - 1.0
Kainji Lake	4.4 - 2.9	4.2 - 2.7	4.3 - 3.0
Kamuku	4.1 - 2.4	4.3 - 2.5	3.4 - 2.5
Kéran	3.4 - 2.4	3.4 - 2.3	3.4 - 2.3
Kidepo Valley	1.2 - 1.4	1.0 - 1.7	0.9 - 1.2
Manda	3.0 - 2.7	3.1 - 2.8	2.7 - 2.3
Mole	4.1 - 4.2	3.9 - 3.8	4.5 - 4.3
Manovo-Gou.-St Floris	3.4 - 3.1	3.2 - 3.2	3.4 - 3.7
Niokolo-Koba	3.2 - 2.2	2.8 - 2.2	3.2 - 2.5
Omo	0.6 - 1.3	1.3 - 1.6	1.0 - 0.6
Shambe	1.8 - 1.8	1.5 - 2.6	4.5 - 4.3
Southern	3.7 - 4.0	3.2 - 3.3	3.8 - 4.0
Waza	1.9 - 1.2	2.1 - 1.7	2.7 - 1.6
Yankari	2.5 - 0.7	2.3 - 0.9	3.0 - 1.2
Zakouma ^(d)	3.2 - 2.7	2.5 - 2.5	2.7 - 2.5
Moyenne autres parcs soudaniens	3.1 - 2.4	3.0 - 2.4	3.2 - 2.6
Moyenne parcs guineo-congolais/Soudanien ^(c)	2.6 - 2.3	2.6 - 2.5	2.9 - 2.9
Moyenne des parcs du domaine zambésien ^(d)	0.3 - 0.3	1.8 - 2.0	1.4 - 1.6

^a l'espace périphérique de 25 km est inclus dans la Réserve de faune de Bahr-Salamat

^b l'espace périphérique de 25 km correspond à celui de la Réserve de faune de Yata-Ngaya

^c moyenne sur 9 Parcs Nationaux ; ^d moyenne sur 35 Parcs Nationaux

Le rapport entre la densité des feux à l'extérieur (DFE) et à l'intérieur (DFI) d'une aire protégée peut donner une indication du degré de différenciation de l'aire par rapport à l'espace environnant, en terme de disponibilité et d'agencement spatial du combustible. Ce qui donne une indication de la qualité de l'habitat naturel dans l'aire.

Ce rapport et son évolution dans le temps peuvent ainsi constituer de très bons indicateurs du niveau de protection et du degré d'isolement d'une aire protégée (Tableau 7). Cet indicateur "d'habitat" viendrait compléter les indicateurs de "richesse spécifique", comme certaines populations d'insectes (Bouyer *et al.*, 2007). La densité de feux actifs fait l'objet d'un suivi systématique par le CCR pour un ensemble de 741 aires protégées d'Afrique (Hartley *et al.*, 2007). L'information est accessible sur le site <http://www-tem.jrc.it/PA/index.html>.

Tableau 7. Caractère indicateur du rapport des densités de feu à l'extérieur (DFE) et à l'intérieur (DFI) d'une aire protégée

	indications en matière de		
	combustible	spécificité de l'aire	protection de l'aire
DFE/DFI = 1	quantité et agencement sont identiques dans et hors de l'aire	l'aire ne se différencie pas du milieu environnant	le statut d'aire protégée est peu probable
$0 < \text{DFE/DFI} < 1$	- quantité plus élevée dans l'aire ; - agencement plus favorable	l'aire se différencie du milieu environnant, dans le sens d'un habitat naturel plus riche dans l'aire	le statut d'aire protégée se vérifie
DFE/DFI > 1	quantité et agencement plus favorables hors de l'aire	l'aire se différencie du milieu environnant, dans le sens d'un habitat naturel plus pauvre dans l'aire	le statut d'aire protégée ne se vérifie pas

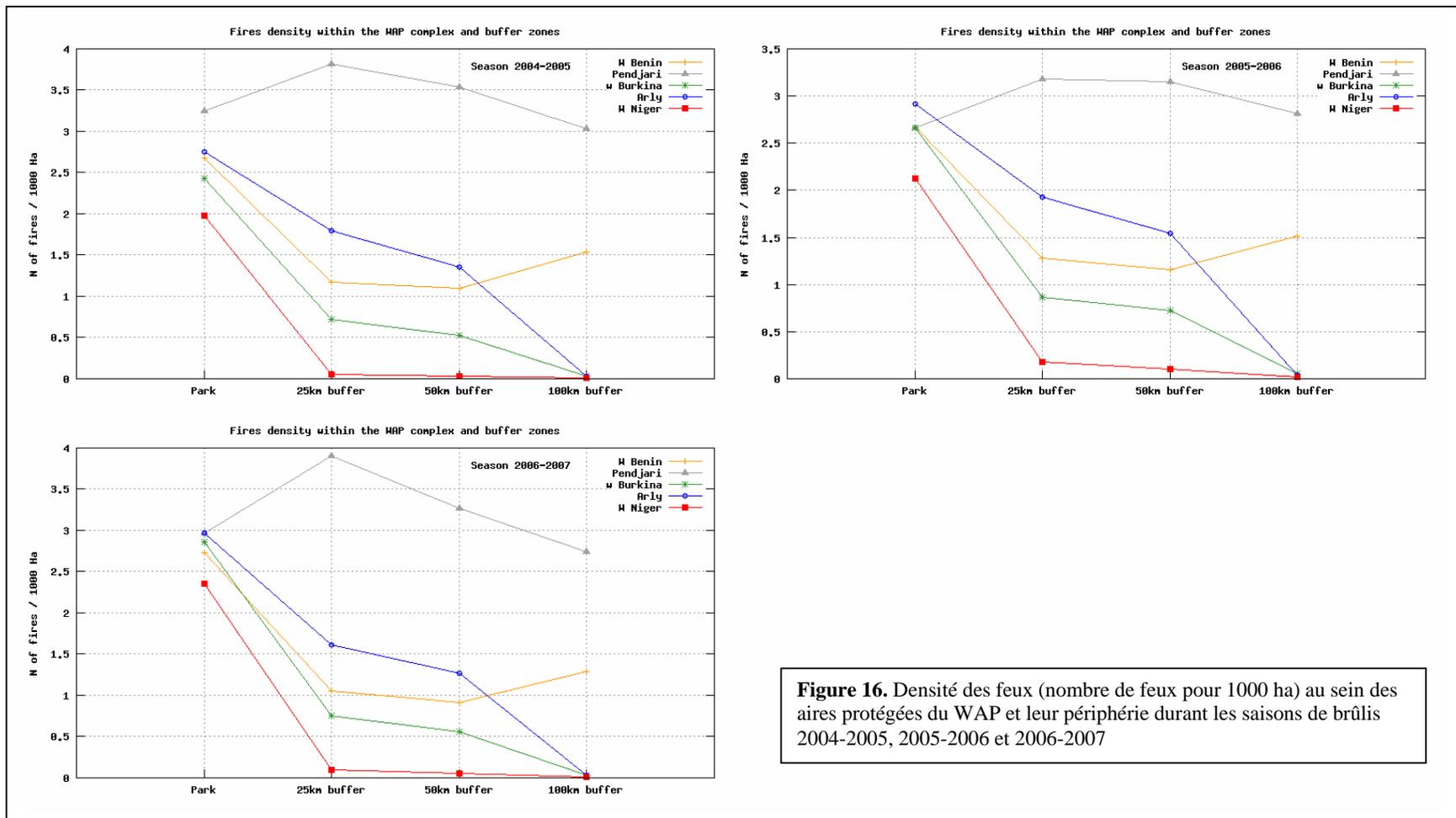


Figure 16. Densité des feux (nombre de feux pour 1000 ha) au sein des aires protégées du WAP et leur périphérie durant les saisons de brûlis 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007

5 Confrontation avec le plan de brûlis 2006-2007

Les observations satellitaires ont montré que le début des brûlis pour la saison 2006-2007 a eu lieu dans la semaine du 23 au 29 octobre 2006. Cette semaine constitue donc le point de départ du plan de brûlis souhaité pour la saison. Selon ce plan, des brûlis très précoces devraient donc avoir eu lieu du 23 octobre au 19 novembre, dans les parties hautes du paysage; puis des brûlis précoces, du 20 novembre au 17 décembre, sur les versants de raccordement; et enfin des brûlis de pleine saison, mi-décembre à fin mars, sur les bas de versant et les bas-fonds humides (Figure 17).

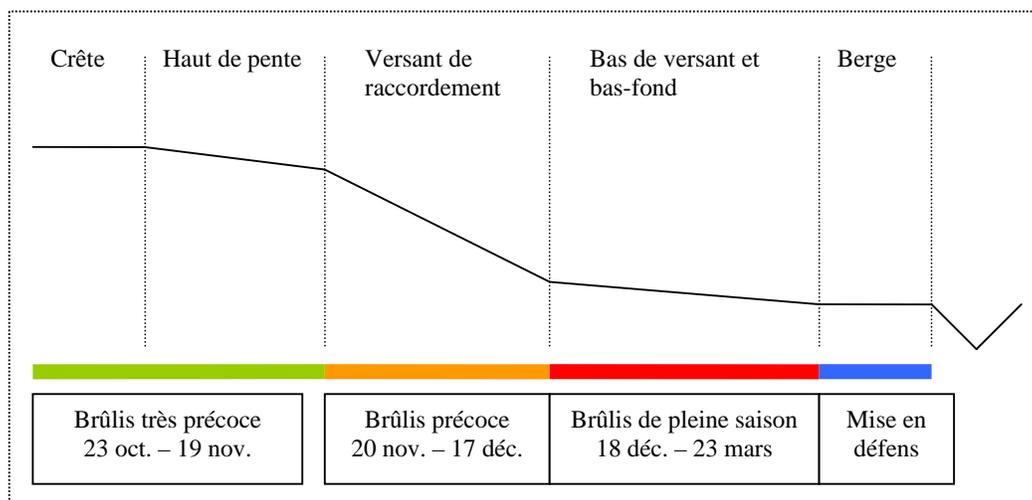


Figure 17. Plan de brûlis 2006-2007 pour les principales unités de paysage du Parc du W

La confrontation entre le calendrier de brûlis souhaité et celui observé sur l'imagerie MODIS a été faite par croisement des inventaires satellitaires et d'un modèle numérique de terrain, considérant une correspondance entre altitude et unité de paysage (Tableau 8).

	Crête & haut de pente	Versant de raccordement	Bas de versant & bas-fond	berge
Intervalle d'altitude	> 280 m	260 à 280 m	240 à 260 m	300 m*

* il a été considéré une bande de 300 m de largeur de part et d'autre des cours d'eau permanents

La figure 18 et le tableau 9 résument les résultats obtenus pour la distribution spatio-temporelle des brûlis dans les trois composantes du Parc du W.

La grande majorité des feux se concentrent dans la période des feux précoces. Cette période, allant de mi-novembre à mi-décembre, concentre 62%, 82% et 59% du total des surfaces brûlées pendant la saison 2006-2007 sur le W-du-Benin, le W-du-Burkina et le W-du-Niger respectivement. Les feux de pleine saison contribuent pour 23%, 4% et 21% sur les trois composantes. Les feux très précoces contribuent pour 16%, 14% et 20%.

Le positionnement des surfaces brûlées dans la séquence topographique, pendant les trois périodes de brûlis, donne des résultats inattendus (Tableau 9). Sur le W-du-Benin, 64% des surfaces brûlées pendant la phase de brûlis très précoces ont concerné les parties les plus basses du paysage (0 à 240 m). Même pondérée, pour tenir compte de l'espace occupé par cette classe d'altitude, la contribution des surfaces brûlées dans les zones basses restent très élevée (49%). On aurait pu s'attendre à un résultat inverse, avec une concentration des brûlis

très précoces dans les parties élevées qui s'assèchent les premières tandis que les parties basses, restant humides plus longtemps, ne devraient constituer qu'une petite partie des surfaces brûlées tôt dans la saison. Le W-du-Burkina présente une situation plus "conforme" à ce qui est attendu. En valeur pondérée, les surfaces brûlées augmentent avec l'altitude pendant la période de brûlis très précoces avec un maximum de 36% sur les zones hautes (> 280 m) et un minimum de 14% dans les parties basses de la topo séquence. Les surfaces brûlées sont réparties de manière homogène pendant la phase de brûlis précoces et ont tendance à se concentrer dans les parties basses du paysage pendant les brûlis de pleine saison. Le W-du-Niger montre une tendance semblable à celle observée sur le W-du-Benin, mais moins nette.

Tableau 9. Répartition des surfaces brûlées par classe d'altitude pour les trois périodes de brûlis. *valeur absolue*: pourcentage du total des surfaces brûlées pendant la période considérée *valeur pondérée*: idem mais pondérée par la superficie occupée par la classe d'altitude.

		0-240 m	240-260 m	260-280 m	> 280 m
W-du-Benin					
très précoces	Absolue	64.1	20.3	11.1	4.5
	Pondérée	49.1	21.3	15.1	14.5
précoces	Absolue	27.6	23.8	27.1	21.6
	Pondérée	12.6	24.8	31.1	31.6
pleine saison	Absolue	43.6	28.5	16.6	11.3
	pondérée	28.6	29.5	20.6	21.3
W-du-Burkina					
très précoces	Absolue	13.7	19.2	31.4	35.7
	Pondérée	19.7	24.2	23.4	32.7
précoces	Absolue	18.3	20.6	33.8	27.2
	Pondérée	24.3	25.6	25.8	24.2
pleine saison	Absolue	39.3	10.7	28.0	22.0
	pondérée	45.3	15.7	20.0	19.0
W-du-Niger					
très précoces	Absolue	48.6	33.6	12.1	5.7
	Pondérée	33.6	22.6	16.1	27.7
précoces	Absolue	38.5	35.0	22.1	4.4
	Pondérée	23.5	24.0	26.1	26.4
pleine saison	Absolue	32.7	40.0	25.5	1.8
	Pondérée	17.7	29.0	29.5	23.8

Les observations satellitaires seules ne permettent pas d'expliquer ce mode de distribution spatio-temporelle des surfaces brûlées sur le W-du-Benin, mais on peut tout de même faire trois remarques importantes.

a) Si ces surfaces brûlées sont le résultat de feux de gestion du Parc du W, il est probable que le facteur accessibilité soit prépondérant puisque les mises à feu se font en partant des pistes existantes. La densité et la position des pistes dans le contexte géomorphologique semble être le facteur déterminant; la teneur en eau du combustible herbacé, et donc la position des brûlis dans la topo-séquence, n'intervenant qu'en deuxième lieu.

b) Si les unités de paysage occupant les parties hautes, comme les plateaux cuirassés, sont de faible étendue, l'imagerie MODIS pourrait être de résolution spatiale trop basse pour y détecter toutes les surfaces brûlées. Cette situation n'est pas impossible; mais alors comment expliquer que pendant la période des brûlis précoces, la répartition des surfaces brûlées dans les différentes classes d'altitude soit très homogène ?

c) On observe enfin que les surfaces brûlées se concentrent dans les parties basses (en dessous de 260 m) aussi bien en tout début de saison de brûlis [58%; en valeur pondérée]

qu'en fin de saison [70%]. Ceci confirmerait que la teneur en eau des herbacées ne soit pas le facteur déterminant pour la distribution des surfaces brûlées.

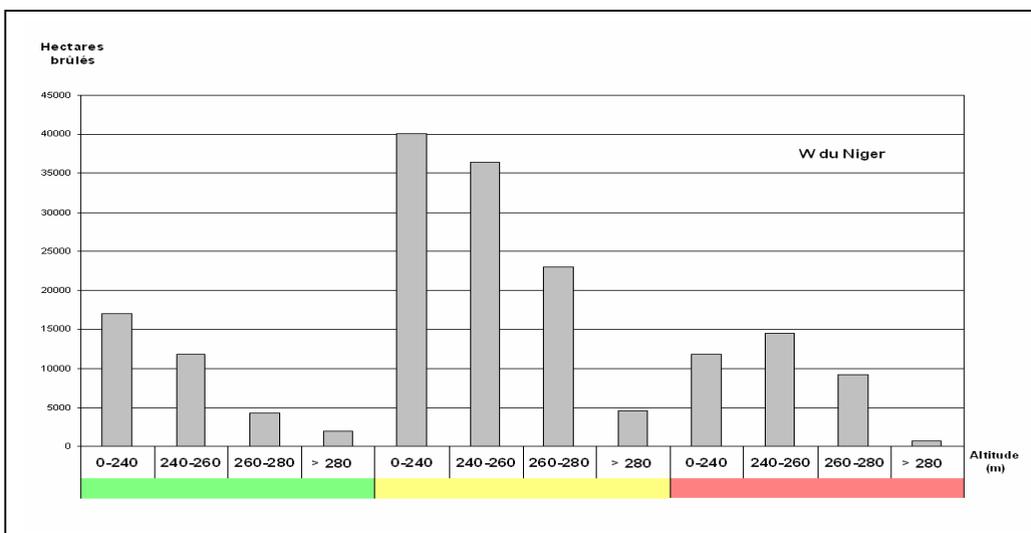
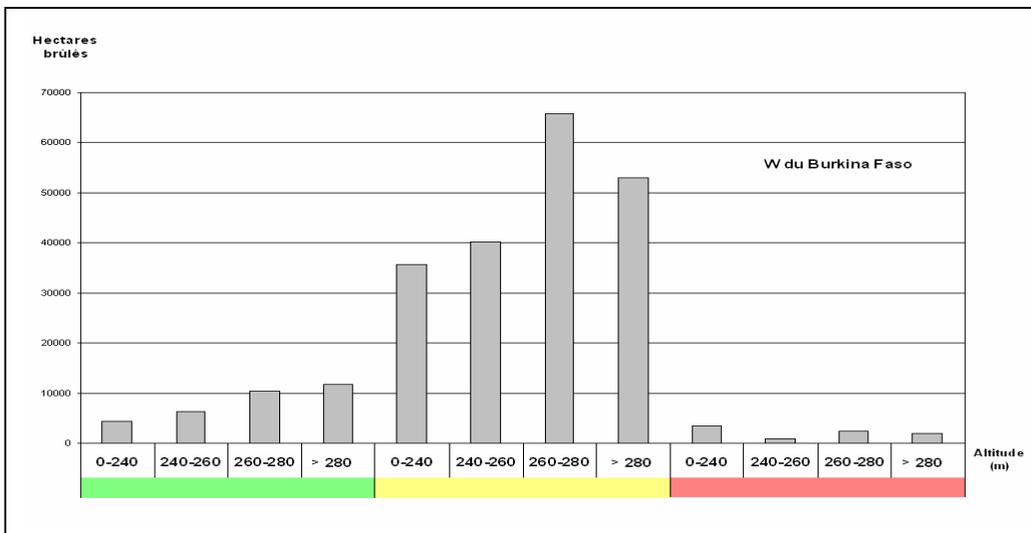
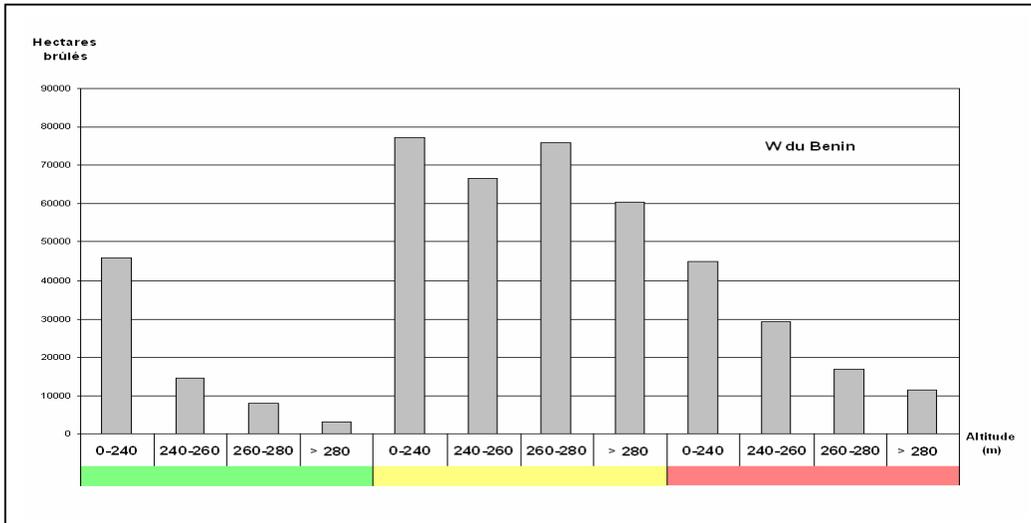


Figure 18. Distribution des surfaces brûlées dans le Parc du W en fonction de l'altitude (0 à 1000 m) et de la période de brûlis – vert: très précoces – jaune: précoces – rouge: de pleine saison pendant la saison 2006-2007

En ce qui concerne les berges des cours d'eau permanents, en principe exclus du plan de brûlis des gestionnaires du parc, on observe une activité non négligeable (Figure 20). Mais le choix d'une bande de 300 m pourrait être excessif.

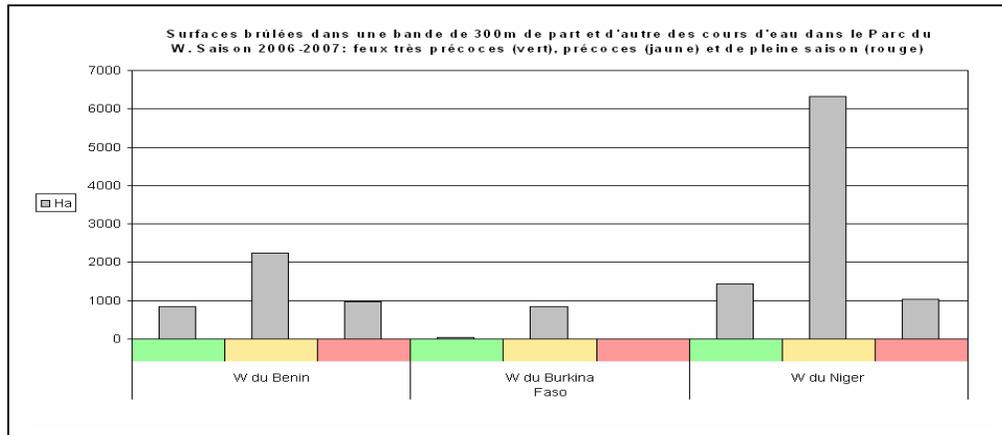


Figure 19. Surfaces brûlées dans une bande de 300 m de part et d'autre des cours d'eau permanents du Parc du W pendant la saison sèche 2006-2007. En vert: brûlis très précoces. En jaune: brûlis précoces. En rouge: brûlis de pleine saison.

En résumé, force est de constater que la répartition des brûlis, telle qu'elle dérive des observations satellitales tant dans le temps que dans l'espace, ne correspond pas à ce qui est souhaité dans le Plan d'Aménagement.

6. Perspectives pour le suivi des brûlis dans le complexe du WAP

Le test de suivi des brûlis de 2004 à 2007 a montré que l'imagerie fournie par le capteur MODIS permet de caractériser la dynamique des feux au sein de toutes les aires protégées du complexe du WAP. Deux améliorations doivent cependant être apportées pour mieux répondre aux besoins exprimés par les gestionnaires du Parc : i) augmenter la fréquence de cartographie des surfaces brûlées et affiner l'analyse de la dynamique temporelle des saisons de brûlis, ii) mettre en place un suivi de la repousse des herbacées, après passage du feu.

6.1 Potentialités du système d'observation SPOT-VGT pour la cartographie des surfaces brûlées et la caractérisation de la dynamique temporelle des brûlis

Le capteur MODIS permet d'observer le complexe du WAP dans de bonnes conditions une fois toutes les deux semaines, en moyenne. L'imagerie fournie par le capteur VEGETATION (VGT dans le texte), embarqué sur le satellite SPOT, pourrait permettre de réduire cet intervalle de temps. Par contre, sa résolution spatiale n'est que de 1100 m contre 250 m pour MODIS. Sachant qu'il faut un minimum de 40 à 50 % de surface brûlée dans le pixel pour qu'il soit classifié comme tel, l'unité de cartographie est donc de l'ordre de 50 ha pour VGT et de 6 ha pour MODIS.

La comparaison des résultats obtenus à partir de ces deux type d'imagerie (figure 20), montre que SPOT-VGT sous-estime fortement les surfaces brûlées. Elle ne permet de détecter que les grandes surfaces à l'intérieur du complexe et omet pratiquement toutes celles situées à l'extérieur, à l'exception de celles se trouvant dans les concessions de chasse de Pagou, Tandougou et Ouamou, en lisière Nord de la réserve de faune de Singou et de celles situées dans la zone cynégétique de la Mékrou, en lisière Sud-Ouest du W-du-Bénin.

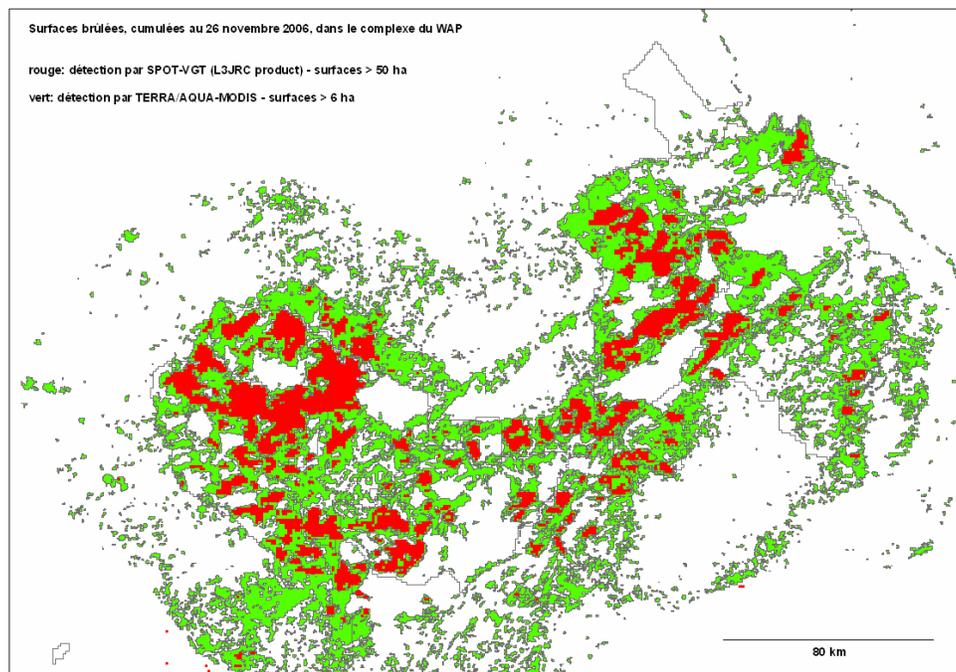


Figure 20. Surfaces brûlées dans le complexe du WAP en début de saison 2006-2007. Surfaces détectées par les capteurs VGT (en rouge) et MODIS (en vert) au 26 novembre 2006.

A la fin de la saison 2006-2007, le total des surfaces brûlées détectées par VGT représente 40% de celles détectées par MODIS, sur le W-du-Burkina, sur la Pendjari et sur la Réserve d'Arly (figure 21). Il est de 14% pour le W-du-Niger et 12% pour le W-du-Benin.

Le meilleur résultat (40%) s'observe donc sur les aires où les surfaces brûlées sont étendues et massives; tandis que les aires montrant des surfaces moins étendues comme le W-du-Niger ou plus fragmentées comme le W-du-Benin donnent des résultats particulièrement décevants.

La comparaison au pas de temps mensuel (figure 22) confirme cette observation: les performances du capteur VGT baissent fortement dans la 2ème moitié de la saison sèche, c'est à dire lorsque les surfaces brûlées sont plus fragmentées.

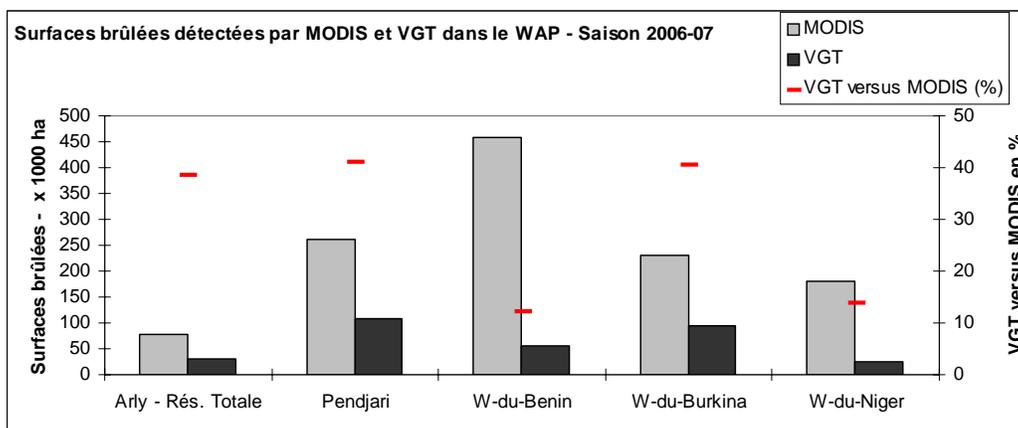


Figure 21. Surfaces brûlées (total saisonnier) détectées par les capteurs MODIS et VGT dans le complexe du WAP pendant la saison de brûlis 2006-2007

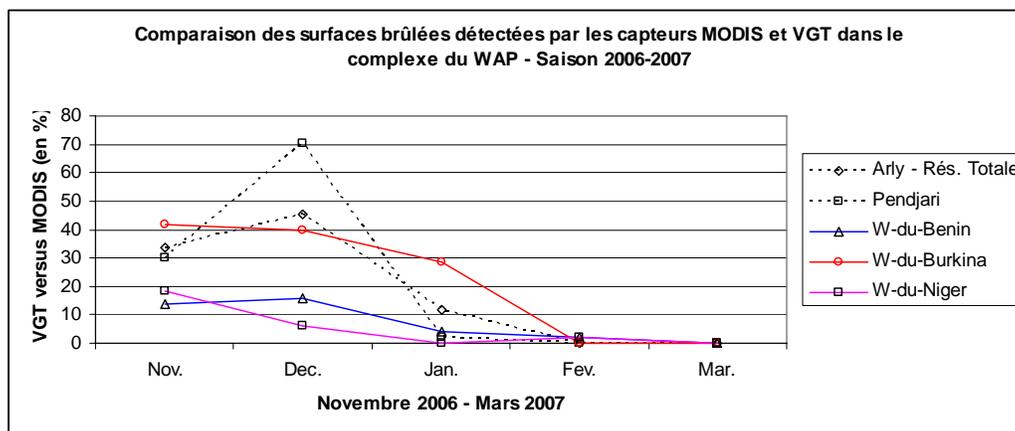


Figure 22. Surfaces brûlées (pas de temps mensuel) détectées par les capteurs MODIS et VGT dans le complexe du WAP pendant la saison de brûlis 2006-2007

La dynamique temporelle, au pas de temps de 10 jours, n'est que grossièrement rendue par les produits dérivés de SPOT-VGT (figure 23). Ces produits sont difficilement exploitables comme unique source d'information pour un suivi du développement de la saison de brûlis sur le WAP. Ils permettent cependant de "comblent" les trous entre deux observations MODIS.

A titre d'exemple, la figure 24 montre une exploitation conjointe de l'information dérivée des deux capteurs MODIS et VGT pendant le mois de novembre 2006. Le premier a permis une cartographie fine des surfaces parcourues par les feux pendant une quinzaine de jours,

entre le 12 et le 26 novembre. Le second a permis de préciser la dynamique des surfaces brûlées entre ces deux dates. La combinaison des deux capteurs s'avère donc bénéfique.

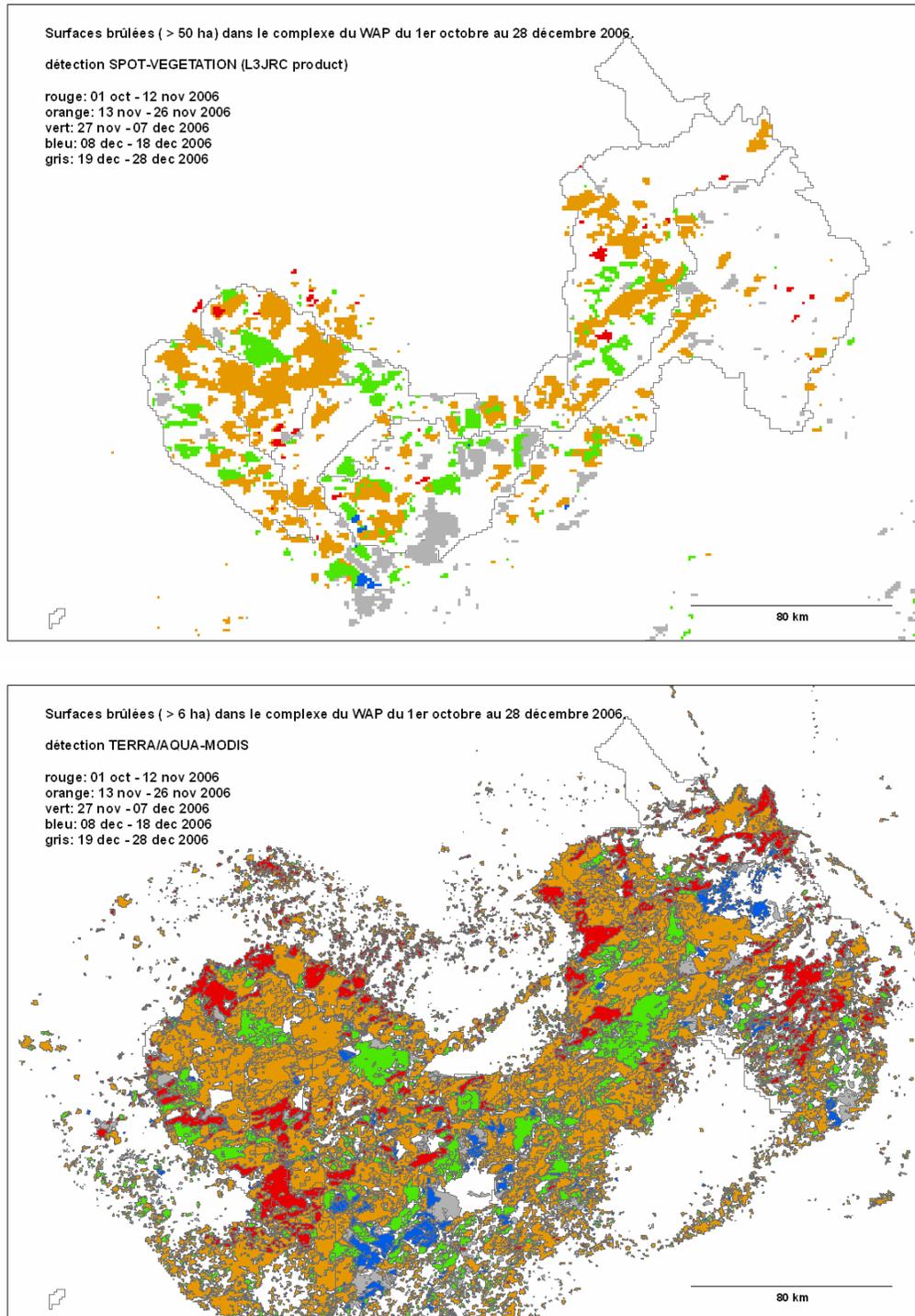


Figure 23. Surfaces brûlées dans le WAP du 1er octobre au 28 décembre 2006. En haut: surfaces détectées par SPOT-VGT. En bas: surfaces détectées par TERRA/AQUA-MODIS.

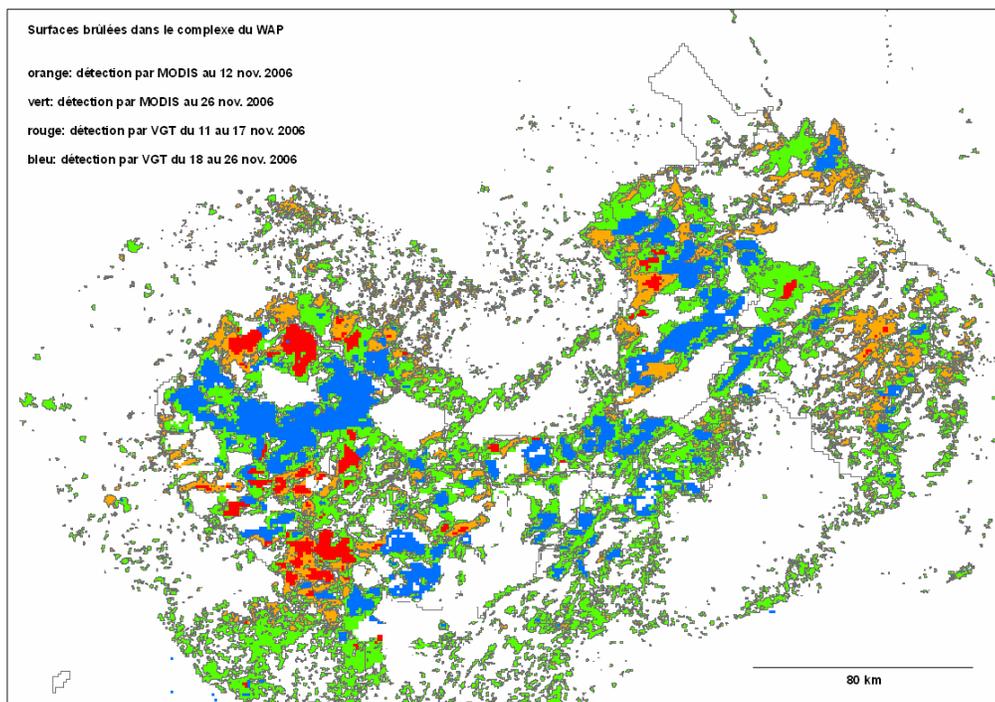
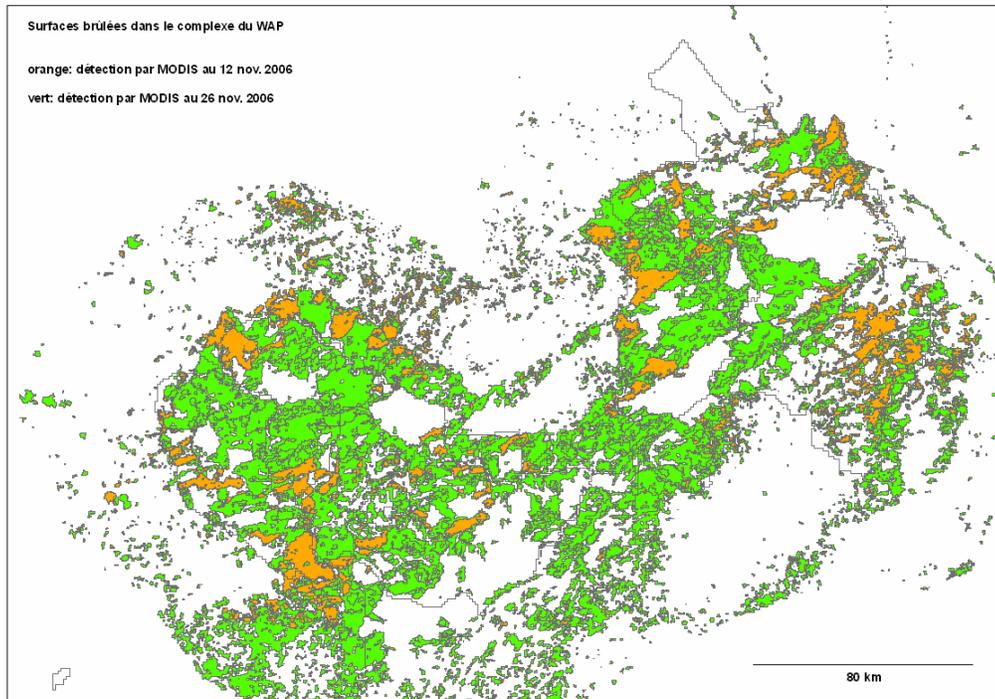


Figure 24. Combinaison des surfaces brûlées détectées par les capteurs MODIS et VGT entre le 11 et le 26 novembre 2006 sur le complexe du WAP. Surfaces détectées par MODIS au 11 novembre (orange) puis au 26 novembre (vert). Surfaces détectées par VGT entre le 11 et le 17 novembre (rouge) puis entre le 18 et le 26 novembre (bleu).

Qu'en est-il de la dynamique interannuelle ?

L'archive d'imagerie SPOT-VGT remonte à l'année 2000. Elle a été traitée, en cartes de surfaces brûlées, pour la période avril 2000 à mars 2007 (Tansey *et al.*, 2005; 2007); les

résultats sont d'accès publique sur le site web du CCR (CCR, 2007). L'analyse de cette série temporelle de surfaces brûlées (figure 25) montre une dynamique interannuelle très semblable d'une aire à l'autre, avec un maximum d'activité pendant la saison de brûlis 2003-2004 et deux minima en 2001-2002 et 2004-2005. Le W-du-Burkina se distingue de la tendance générale par une augmentation des surfaces brûlées de 2005-2006 à 2006-2007, alors que les autres aires diminuent ou sont stables sur cette même période.

Une analyse au pas de temps trimestriel (figure 26) confirme la nette prédominance des brûlis précoces, jusqu'à décembre, par rapport aux brûlis de pleine saison, de janvier à mars, qui avait été observée de 2004 à 2007 sur la base des feux actifs détectés par MODIS (chapitre 4, # 4.1). La situation observée de 2004 à 2007 n'est donc pas exceptionnelle. On notera cependant une activité non négligeable en janvier-février pendant les saisons 2002-03, 2003-04 et 2005-06.

Les produits surfaces brûlées dérivés de SPOT-VGT s'avèrent donc très utiles pour une analyse des dynamiques inter-annuelles.

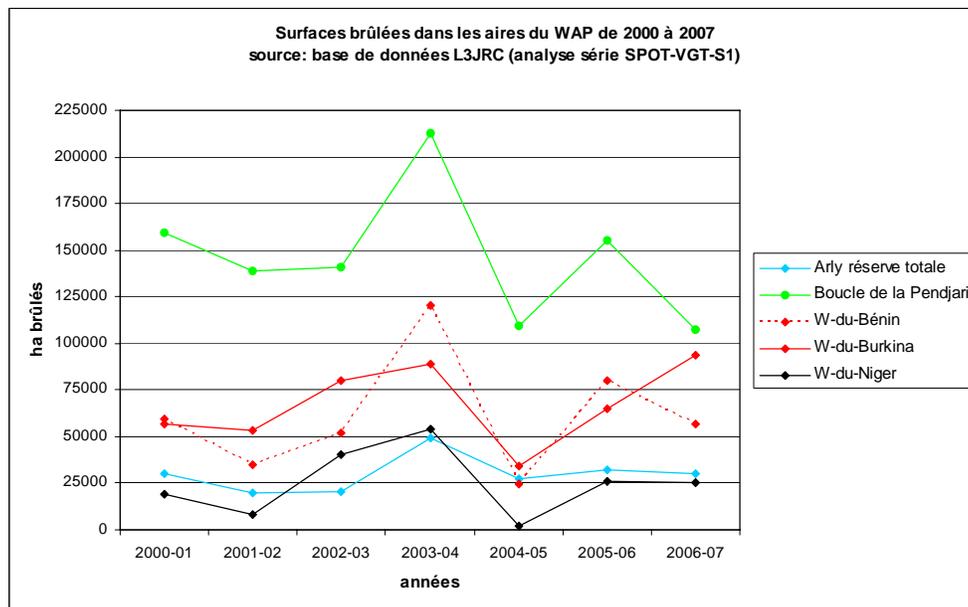


Figure 25. Synthèses annuelles des surfaces brûlées dans les aires du complexe du WAP d'avril 2000 à mars 2007. source: base de données L3JRC (Tansey *et al.*, 2007).

Contexte régional

Une des forces du système SPOT-VGT réside dans sa capacité à fournir des informations au niveau régional et sous continental; ce que le système TERRA/AQUA-MODIS permet plus difficilement.

A titre d'exemple, l'information dérivée des séries temporelles SPOT-VGT montre très clairement que la prédominance des brûlis "très précoces" et "précoces", observée sur le complexe du WAP, n'est pas un cas particulier mais une caractéristique régionale que l'on retrouve dans les principales aires protégées des pays environnant (figure 27): la Comoé, en Côte d'Ivoire; Mole et Bui, au Ghana; Kainji Lake, au Nigeria; Fazao-Malfakassa, au Togo.

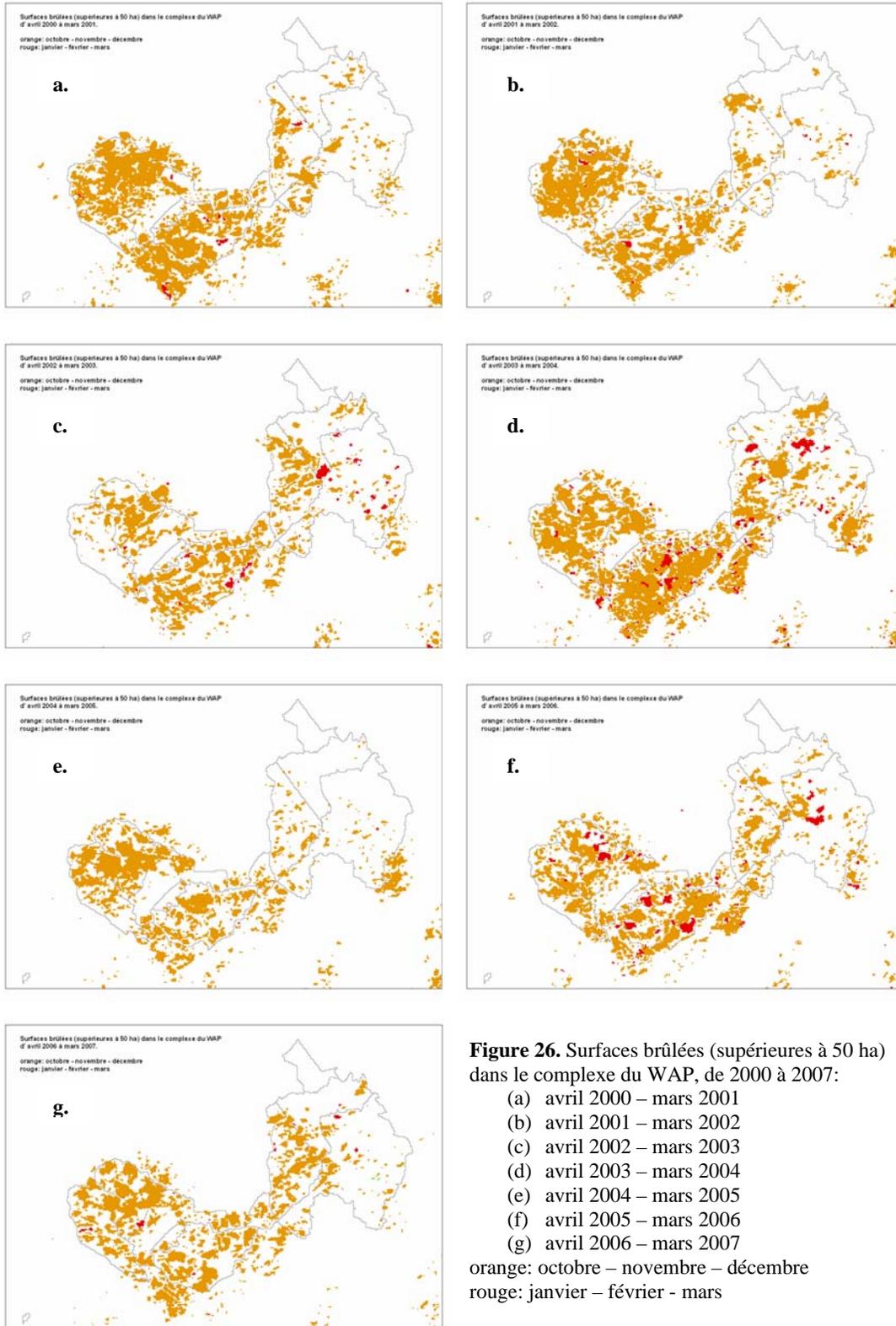


Figure 26. Surfaces brûlées (supérieures à 50 ha) dans le complexe du WAP, de 2000 à 2007:

- (a) avril 2000 – mars 2001
- (b) avril 2001 – mars 2002
- (c) avril 2002 – mars 2003
- (d) avril 2003 – mars 2004
- (e) avril 2004 – mars 2005
- (f) avril 2005 – mars 2006
- (g) avril 2006 – mars 2007

orange: octobre – novembre – décembre

rouge: janvier – février - mars

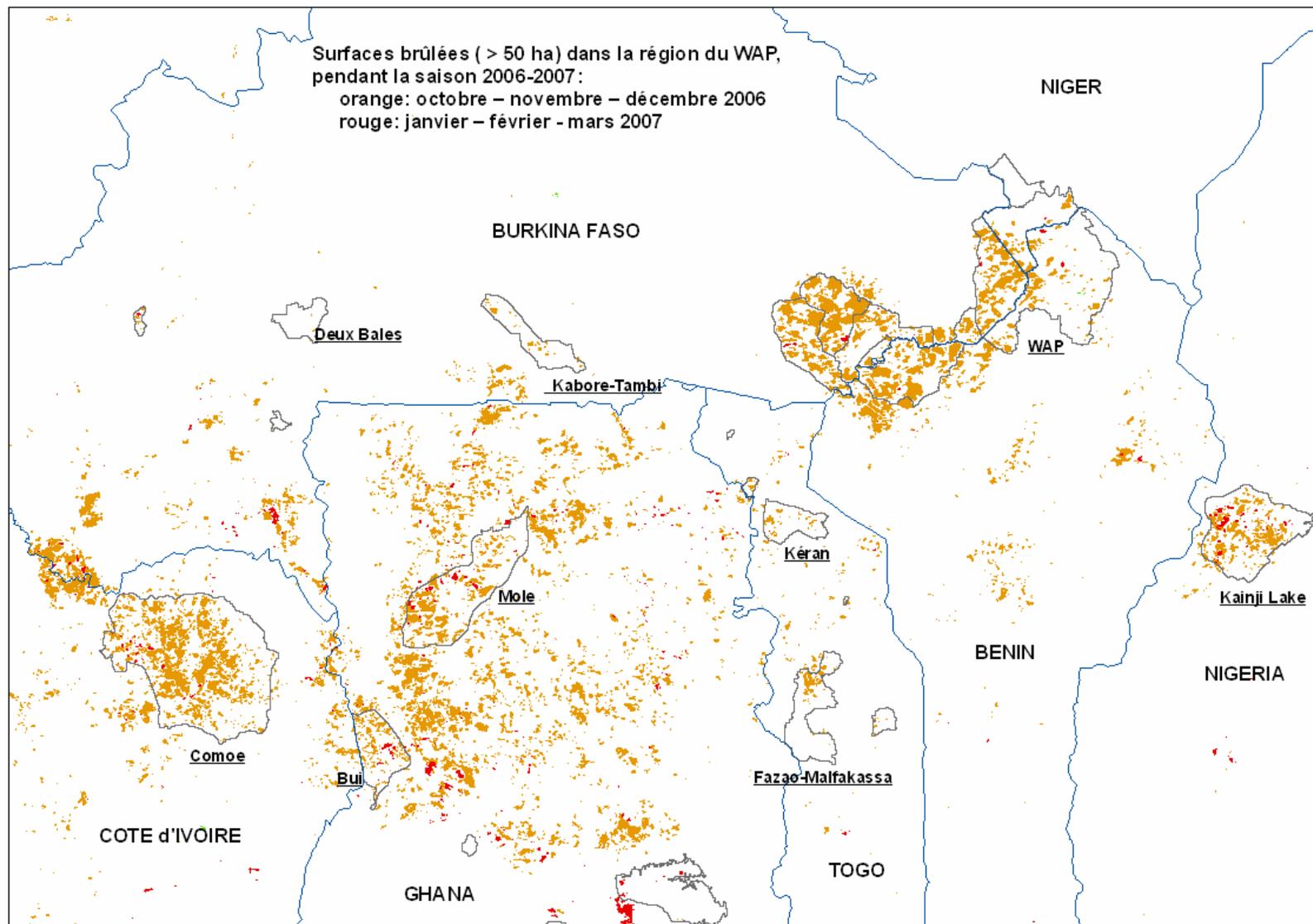


Figure 27. Surfaces brûlées (> 50 ha) détectées par le système SPOT-VGT dans la région du WAP pendant la saison de brûlis 2006-2007. Les brûlis “précoces” (octobre à décembre 2006; en orange) dominent largement dans toutes les aires protégées de la région. Les brûlis “de pleine saison” (janvier à mars 2007; en rouge) sont très minoritaires

6.2 Perspectives à court terme

Les activités menées en 2006-2007, à savoir le bulletin hebdomadaire des feux actifs et la cartographie bimensuelle des surfaces brûlées, se poursuivront durant la saison sèche 2007-2008 et seront complétées par trois nouvelles actions:

- un essai d'estimation de la repousse des herbacées, suite au passage du feu, sur des sites d'intérêt pour le projet « Mobilité de la Grande Faune » du CIRAD. Le suivi se fera à résolution spatiale moyenne (~ 250 m) sur la base d'indices de végétation ;
- un essai de suivi de la reprise de la végétation, suite au démarrage des pluies. Ce test se fera en exploitant l'archive d'imagerie SPOT-VGT à basse résolution (~ 1000 m);
- enfin, l'inventaire et la cartographie des points d'eau temporaires du Parc du W seront affinés à l'aide d'imagerie à très haute résolution (SPOT 5, à 5 m de résolution).

Opérationnalité des systèmes d'observation de la Terre exploitables pour le Parc du W

Dans une optique opérationnelle, les conditions d'accès aux données satellitaires, mais plus encore à l'information qui en est dérivée, sont fondamentales. Des deux systèmes testés dans cette étude, SPOT-VGT présente un lourd handicap pour au moins trois raisons :

- l'imagerie SPOT-VGT-S1, utilisée pour cartographier les surfaces brûlées, n'est pas d'accès publique, contrairement à l'imagerie MODIS;
- le produit « feux actifs » de MODIS est d'accès publique en routine; ce type d'information n'est pas disponible à partir de SPOT-VGT;
- le produit « surfaces brûlées » de SPOT-VGT est d'accès publique, sur le site web du CCR, pour la période janvier 2000 – mars 2007, mais ne l'est plus après cette date. Le projet *Vgt4Africa* (Bartholomé, 2007) devrait assurer la continuation, avec distribution des produits dérivés de SPOT-VGT via le réseau EUMETCast (EUMETSAT, 2007), à partir de janvier 2008. Un produit « surfaces brûlées » de MODIS, à 500 m de résolution et au pas de temps mensuel, est également annoncé par la NASA et l'Université du Maryland (<http://modis-fire.umd.edu/MCD45A1.asp>).

Enfin, le système européen ENVISAT-MERIS (ESA, 2006), offrirait, de par ses caractéristiques spectrales et géométriques, des possibilités de cartographie des surfaces brûlées très semblables à celles de MODIS. Mais il n'y a pas, à notre connaissance, de produit « surfaces brûlées » de MERIS prévu par l'ESA.

En l'état actuel, l'accès à l'imagerie et aux produits dérivés des systèmes d'observation européens à moyenne résolution ne peut être considéré comme opérationnel au plein sens du terme. La situation est meilleure, mais pas totalement opérationnelle puisque dépendante de projets de courte durée, pour les systèmes à basse résolution.

Suivi des brûlis dans le contexte régional

A partir d'octobre 2007, le suivi des brûlis sur le Parc du W sera élargi à trois autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest : les forêts classées de Patako (Sénégal) et Boulon (Burkina Faso), dans le cadre du projet « Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa » (SUN, 2007), ainsi que le Ranch de Nazinga (Burkina Faso). Le site de Nazinga a été sélectionné pour servir de référence régionale à laquelle seront confrontées systématiquement les observations faites sur les autres aires. Nazinga peut s'avérer utile comme référence dans une optique opérationnelle, car l'utilisation des brûlis comme outil de gestion y est une pratique déjà ancienne (Lungren, 1997) et cette aire se situe dans un contexte écologique très semblable à celui des composantes Béninoise et Burkinabé du Parc W, ainsi que de la Boucle de la Pendjari et d'Arly. Cette confrontation permettrait de mieux évaluer le plan de gestion des brûlis dans le Parc du W et de l'aménager en fonction des besoins. Une comparaison préliminaire a été faite pour le calendrier de brûlis de la saison 2006-2007 (figure 28). A première vue, il n'y a pas de décalage majeur, en terme de saisonnalité, entre les calendriers de brûlis des composantes du W et de Nazinga. Seul le W-du-Benin se distingue par une plus grande importance des feux de pleine saison (janvier, février).

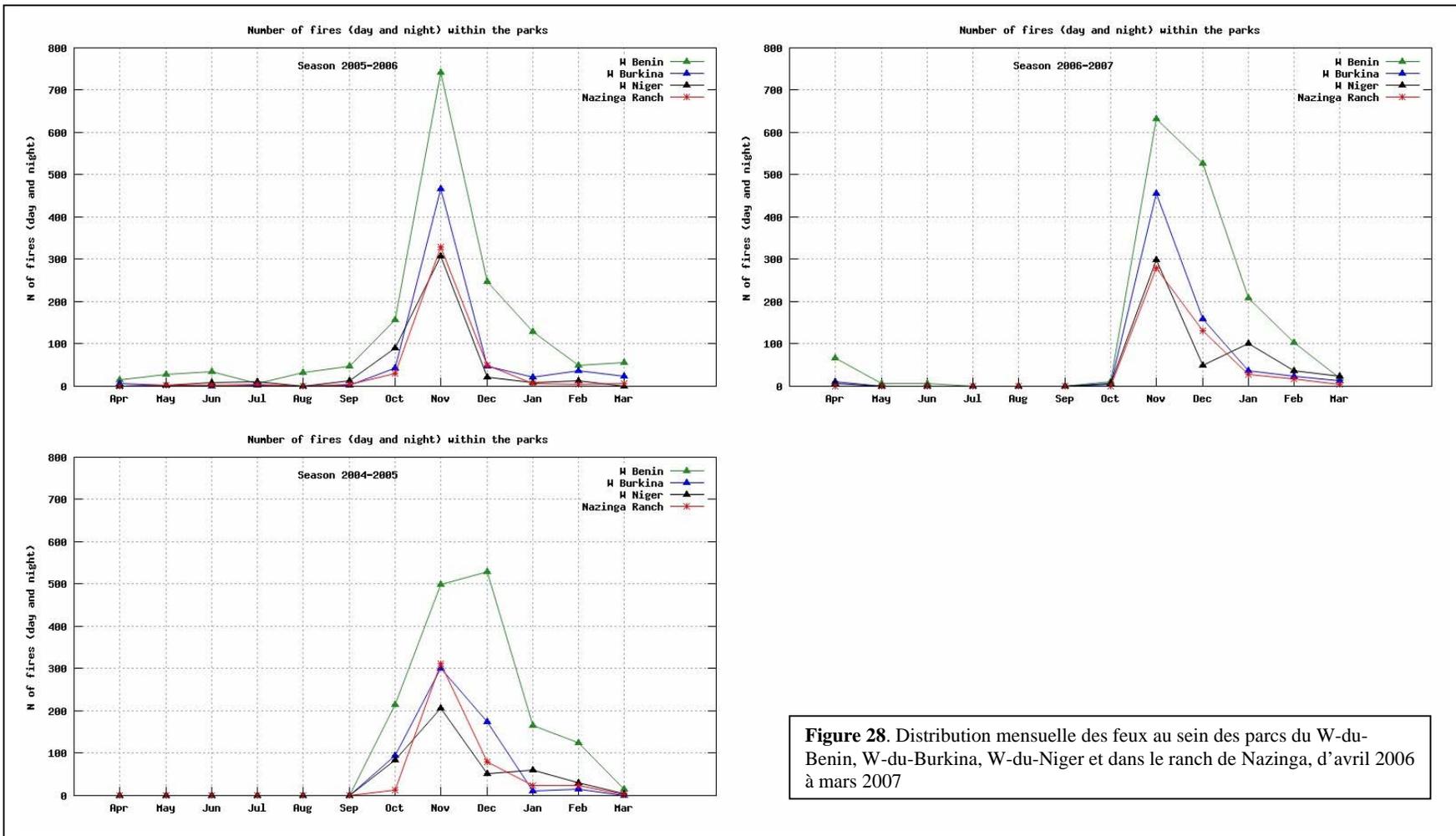


Figure 28. Distribution mensuelle des feux au sein des parcs du W-du-Benin, W-du-Burkina, W-du-Niger et dans le ranch de Nazinga, d'avril 2006 à mars 2007

Références bibliographiques citées dans le texte

Alassoum, O., Belemsobgo, U., Djéri-Alassani, B.K., Lartiges, A., Oury-Bah, M., Sinsin, B. et Thomassey, J-P. Sous la direction de Gérard Sournia, 1998
Les aires protégées d'Afrique francophone.
Agence de la Francophonie – Editions Jean-Pierre de Monza – Paris - ISBN 2-908071-58-4

Bartholomé E., 2007
Monitoring the environment in Africa: VGT4Africa and AMESD projects.
In *Proceedings of the CRAM 2007 workshop*, Nairobi, 27-28-29 Mars 2007, Derk Rijks (ed.), in press.

Bond WJ, Archibald S, 2003
Confronting complexity: fire policy choices in South African savanna parks. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 381-389.

Bouyer J., Sana Y., Samandougou Y., César J., Guerrini L. Kabore-Zoungrana C. and Dulieu, D., 2007
Identification of ecological indicators for monitoring ecosystem health in the trans-boundary W Regional park: A pilot study.
Biological Conservation, **138** (2007), 73-88

Brockett BH, Biggs HC, van Wilgen BW, 2001
A patch mosaic burning system for conservation areas in southern African savannas. *International Journal of Wildland Fire*, **10**, 169-183.

CCR, 2007
http://www.tem.jrc.it/Disturbance_by_fire/products/burnt_areas/GlobalBurntAreas2000-2007.htm

CIRAD, 2001
Programme « Parc W - ECOPAS » volet recherche
http://www.cirad.fr/ur/index.php/faune_sauvage/projet_de_recherche/les_projets_de_recherche/w_ecopas

CIRAD, 2006
http://www.cirad.fr/ur/index.php/faune_sauvage/projet_de_recherche/les_projets_de_recherche/mobilite

Clerici, N., 2006
Monitoring and Assessing Fire Impacts and Land-cover Change in Tropical and Subtropical Ecosystems Using Satellite Remote Sensing and GIS Techniques.
Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 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.

Edwards A, Hauser P, Anderson M, McCartney J, Armstrong M, Thackway R, Allan G, Hempel C, Russell-Smith J, 2001
A tale of two parks: contemporary fire regimes of Litchfield and Nitmiluk national parks, monsoonal northern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, **10**, 79-89.

ESA, 2006
<http://envisat.esa.int/handbooks/meris/>

EUMETSAT, 2007

http://www.eumetsat.int/HOME/Main/What_We_Do/EUMETCast/index.htm

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.
EUR 21296 EN, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-894-8192-7, 63 pp.

Fournier, A., Floret, C. et Gnahoua, G-M., 2001
Végétation des jachères et succession post-culturale en Afrique tropicale. in La jachère en Afrique tropicale – Ch. Floret, R. Pontanier (eds.) – John Libbey Eurotext, Paris, 2001, pp. 123-168.

Freckleton RP., 2004
The problems of prediction and scale in applied ecology: the example of fire as a management tool. *Journal of Applied Ecology*, **41**, 599-603.

Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., Kaufman, Y.J., 2003
An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS.
Remote Sensing of Environment, **87**, 273-282.

Gill AM, Allan G, Yates C., 2003
Fire-created patchiness in Australian savannas. *International Journal of Wildland Fire*, **12**, 323-331.

Grégoire, J-M., 1996
Use of AVHRR data for the study of vegetation fires in Africa: fire management perspectives.
in D'Souza, G. et al., (eds.), *Advances in the Use of NOAA AVHRR Data for Land Applications*, pp.311-335. ECSC,EEC,EAEC, Brussels and Luxembourg. Printed in Netherlands.

Hartley, A., Nelson, A., Buchanan, G., Mayaux, P. and Grégoire, J-M., 2007
Evaluating African Protected Areas
JRC Reference Report. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 22780 EN.

Kaufman, Y.J., Justice, C.O., Flynn, L.P., Kendall, J.D., Prins, E.M., Giglio, L., Ward, D.E., Menzel, W.P., and Setzer, A.W., 1998
Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 32215 – 32238.

IUCN, 2004
Guidelines for Protected Area Management Categories. IUCN, Gland, Switzerland and WCMC, Cambridge, UK.

Keith DA, Williams JE, Woinarski JCZ, 2002
Fire management and biodiversity conservation : key approaches and principles. In `Flammable Australia. The fire regimes and biodiversity of a continent`. (Eds RA Bradstock, JE Williams, AM Gill) pp. 401-425. (Cambridge University Press: Cambridge)

Lamarque, F., 2004
Les grands mammifères du Complexe WAP.
ECOPAS press.

Lungren, C.G., 1997
Guide technique pour le plan de brûlis au ranch de gibier de Nazinga. 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.

Mayaux P., E. Bartholomé, S. Fritz and A. Belward, 2004

A new land-cover map of Africa for the year 2000.
Journal of Biogeography, 31:6, pp:861-877.

Mayaux, P., Eva, H., Fournier, A., Sawadogo, L., Palumbo, I. et Grégoire, J-M., 2006
Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest.
in *Aménagement et gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest*. Fournier A. et Sinsin B. (eds),
Actes du séminaire de Parakou, Bénin, 14-19 avril 2003, co-publication IRD UNESCO, in press.

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.

Menaut, J.C., Gignoux, J., Prado, C., Clobert, J., 1990
Tree community dynamics in a humid savanna of the Cote-d'Ivoire: modelling the effects of fire and
competition with grass and neighbours.
Journal of Biogeography, 17, 471-481.

Nielsen, T.T., Rasmussen, K., 2001
Utilization of NOAA AVHRR for assessing the determinants of savanna fire distribution in Burkina
Faso.
International Journal of Wildland Fire, 10, pp.129-135.

Roques, K.G., O'Connor, T.G. & Watkinson, A.R., 2001
Dynamics of shrub encroachment in an African savanna: relative influences of fire, herbivory, rainfall
and density dependence.
Journal of Applied Ecology, 38:268-280.

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

Tansey, K., Grégoire, J-M., Binaghi, E., Boschetti, L., Brivio, P.A., Ershov, D., Flasse, S., Fraser, R.,
Graetz, D., Maggi, M., Peduzzi, P., Pereira, J.M.C., Silva, J.M.N., Sousa, A. and Stroppiana, D., 2005
A Global Inventory of Burned Areas at 1km Resolution for the Year 2000 Derived from SPOT
VEGETATION Data
Climatic Change, 67(2), 345-377, doi: 10.1007/s10584-004-2800-3. ISSN: 0165-0009 1573-1480.

Tansey, K., Grégoire, J-M., Defourny, P., Leigh, R., Pekel, J-F., van Bogaert, E., Bartholomé, E. and
Bontemps, S., 2007
A new, global, multi-annual (2000-2007) burnt area product at 1 km resolution and daily intervals
Geophysical Research Letters, submitted, August 2007

Trollope, W.S.W. & Tainton, N.M., 1986
Effect of fire intensity on the grass and bush components of the Eastern Cape Thornveld.
J. Grassl. Soc. Sth. Afr. 2: 27-42.

Trollope, W.S.W., Potgieter A.L.F. & Zambatis, N., 1990
Characterization of fire behaviour in the Kruger National Park.
Final report. National Parks Board, Kruger National Park, Skukuza.

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)

van Wilgen BW, Govender N, Biggs HC, Ntsala D, Funda XN, 2004

Response of savanna fire regimes to changing fire-management policies in a large African national park. *Conservation Biology*, **18** (6), 1533-1540.

Wein, R.W., 1991

Editorial. *International Journal of Wildland Fire*, **1**, (1).

White F., 1986

La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO. Unesco ISBN:92-3-201955-8; ORSTOM ISBN:2-7099-0832-8. 1986, p.384.

Williams, R.J., Cok, G.D., Gill, A.M., Moore, P.H.R., 1999

Fire regime, fire intensity and tree survival in a tropical savanna in northern Australia. *Australian Journal of Ecology*, **24**: 50-59.

Yibarbuk D, Whitehead PJ, Russell-Smith J, Jackson D, Godjuwa C, Fisher A, Cooke P, Choquenot D, Bowman DMJS, 2001

Fire ecology and Aboriginal land management in central Arnhem Land, northern Australia: a tradition of ecosystem management. *Journal of Biogeography*, **28**(3), 325-343.

European Commission

EUR 22934 FR – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability

Title: 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

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

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

2007 – 49 pp. – 21 x 29.7 cm

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

Résumé

Le parc régional transfrontalier du W (Bénin, Burkina Faso et Niger), d'une superficie de 10,300 km², fait partie du complexe écologique du WAP (30,000 km²). Le Parc du W est classé, depuis novembre 2002, réserve transfrontalière de la biosphère et bénéficie d'un soutien technique et financier de l'UE depuis janvier 2001 dans le cadre du programme Parc W – ECOPAS. La maîtrise des brûlis est un aspect essentiel dans la gestion du parc. Le CCR a donc effectué un suivi satellitaire systématique des feux durant la saison sèche 2006-2007 ainsi qu'une analyse rétrospective jusqu'en janvier 2000. Ce document présente les caractéristiques essentielles de la saisonnalité des brûlis au sein du WAP ainsi que leur distribution spatiale. Cet ensemble d'information est confronté au Plan d'Aménagement et de Brûlis souhaité par les gestionnaires du Parc du W. Les conclusions de cette étude devraient aider à la mise en place du plan de brûlis et à son adaptation progressive pour mieux répondre aux objectifs d'aménagement et de conservation du parc.

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.

