

# Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest

**Philippe Mayaux**, ingénieur forestier

**Hugh Eva**, géographe

**Ilaria Palumbo**, écologue

**Jean-Marie Grégoire**, géomorphologue

**Anne Fournier**, phytoécologue

**Louis Sawadogo**, ingénieur forestier

## Introduction

Parmi les mesures prises pour conserver la diversité biologique, la mise en protection de certains territoires joue un rôle majeur. Ces aires protégées ont pour vocation le maintien d'espaces permettant la conservation d'espèces animales et végétales et des processus écologiques par lesquels ces espèces interagissent au sein de communautés largement autorégulées. Une autre vocation des aires protégées – sur laquelle l'attention se focalise de plus en plus – est de contribuer au bien-être des populations riveraines. Le visage que présentent ces espaces protégés résulte de contraintes écologiques (climatiques, géologiques, pédologiques, biogéographiques...) et d'un contexte humain (historique, socio-économique, culturel, juridique...). La compréhension du fonctionnement des aires protégées et l'optimisation de leur rôle exigent la prise en compte de leur insertion dans des paysages anthropisés. Une telle approche spatialisée peut s'appuyer aujourd'hui sur les outils d'observation de la terre et les systèmes d'information géographique.

## Cartographie et suivi de la végétation

La végétation naturelle intègre les effets de nombreuses variables éco-climatiques et anthropiques ainsi que de leurs interactions ; elle conditionne pour une bonne part le maintien de la diversité animale. Une connaissance fine de sa composition, de sa distribution spatiale et de son évolution est fondamentale pour la gestion de toute aire protégée.

## Cartographie des formations végétales

Les techniques de cartographie ont sensiblement évolué depuis l'apparition des photos aériennes dans un premier temps, des images satellitales ensuite. D'immenses zones réputées peu accessibles sont devenues rapidement observables par le recours à ces images aériennes. Leur interprétation s'appuie sur un nombre limité de relevés de terrain judicieusement choisis. Le passage des photos aériennes analogiques aux images satellitales numériques s'est traduit par un foisonnement de développements méthodologiques qui ont pour but d'en exploiter pleinement les caractéristiques essentielles. L'imagerie satellitale donne en effet la possibilité : (i) d'observer simultanément de vastes surfaces correspondant à la totalité d'une aire protégée, (ii) de réaliser des traitements numériques sophistiqués (redressement géométrique, agrégation statistique, classifications digitales...), (iii) de répéter les observations pour suivre les changements inter- et intra-annuels de l'occupation du sol. L'étude diachronique d'images satellitales anciennes et actuelles représente un outil diagnostique précieux pour la mesure de l'évolution des formations végétales à moyen et long terme. Ces différentes caractéristiques permettent de réduire le temps de production de cartes de végétation et d'en améliorer la précision spatiale. Certaines limitations thématiques apparaissent toutefois par rapport aux cartes traditionnelles.

– La légende de la carte repose sur un compromis entre les exigences de l'utilisateur – qui définit habituellement ses classes par la structure et la composition spécifique de la végétation – et les possibilités techniques de la télédétection spatiale – limitées essentiellement au comportement spectral et temporel des pixels. Sa définition doit résulter d'un dialogue itératif entre producteur et utilisateur de l'information.

– Sauf cas particuliers, les images satellitales ne permettent pas de déterminer la composition botanique des milieux, données qui reposent donc toujours sur des relevés au sol suffisamment nombreux.

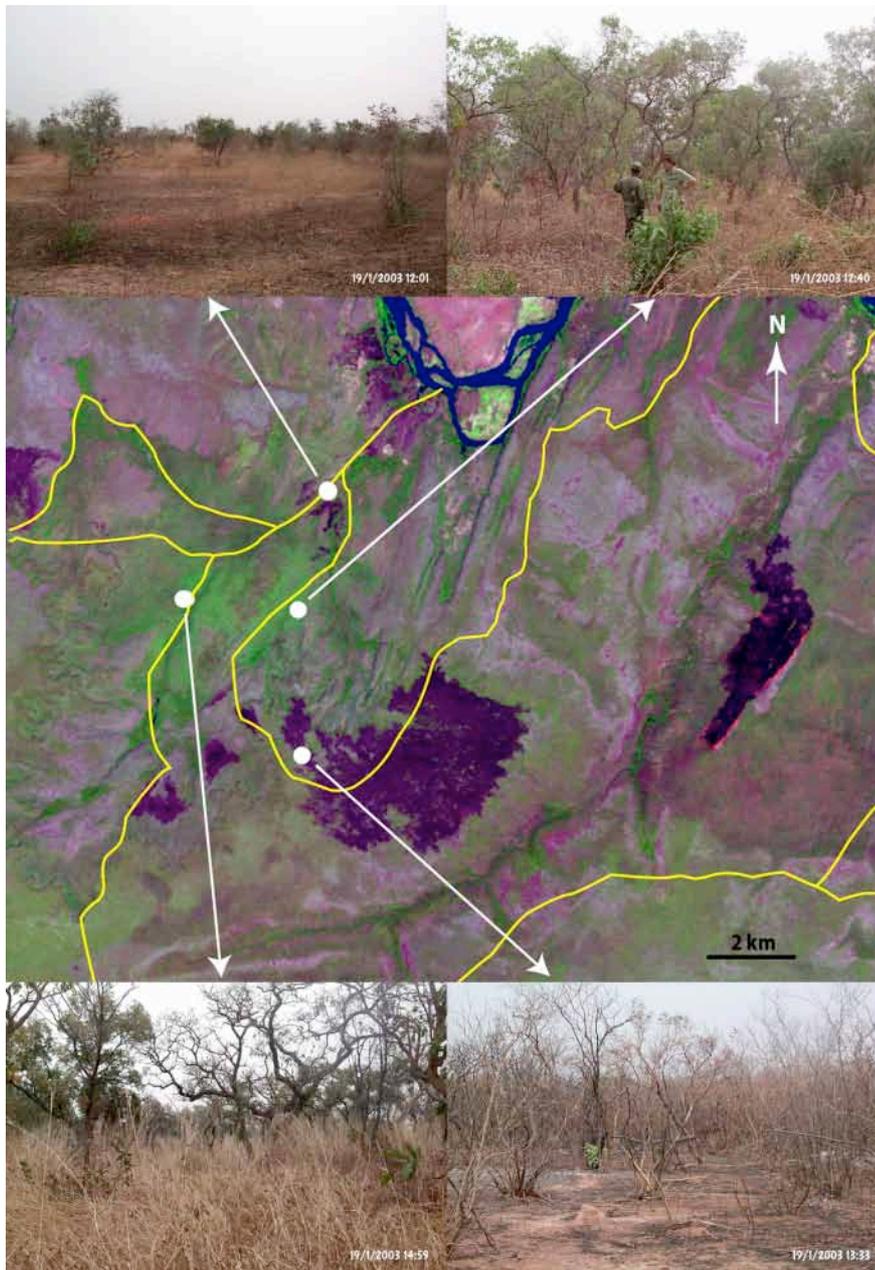
– Dans les milieux où les variations saisonnières sont importantes, l'utilisation de plusieurs images réparties sur le cycle de végétation peut s'avérer nécessaire pour différencier les principales formations végétales.

La plupart des aires protégées sont maintenant cartographiées à partir des images Landsat TM ou Spot HRV. Peu d'expériences existent quant à l'utilisation des images à très haute résolution spectrale (Aster) ou spatiale (Ikonos). Néanmoins, leurs propriétés intrinsèques militent pour leur utilisation plus importante dans la caractérisation des formations végétales.

Différents sites Internet proposent des images gratuites ou à des coûts extrêmement faibles. Le tableau I détaille les principaux systèmes utiles pour la gestion des aires protégées, tandis que la figure 1 illustre le potentiel de discrimination des images Landsat TM dans une partie du parc du W.

Capteur	Rés. spatiale	Répétitivité	Canaux	Empreinte	Géométrie
Ikonos	1 – 4 m	3 jours	4+1	11 km	++
Spot – HRV	5 – 10 m	3 – 26 jours	4+1	60 km	++
Landsat ETM	15 – 30 m	16 jours	7+1	185 km	++
Aster	15 – 90 m	26 jours	15	60 km	++
Modis	250 – 1 000 m	1 jour	36	2 330 km	++
Spot – Vegetation	1 000 m	1 jour	4	2 250 km	+++
ERS ATSR	1 000 m	3 jours	5	500 km	++
AVHRR	1 100 m	1 jour	5	2 400 km	pauvre

**Tableau I** : Caractéristiques des capteurs principaux utilisés pour la gestion des ressources naturelles.

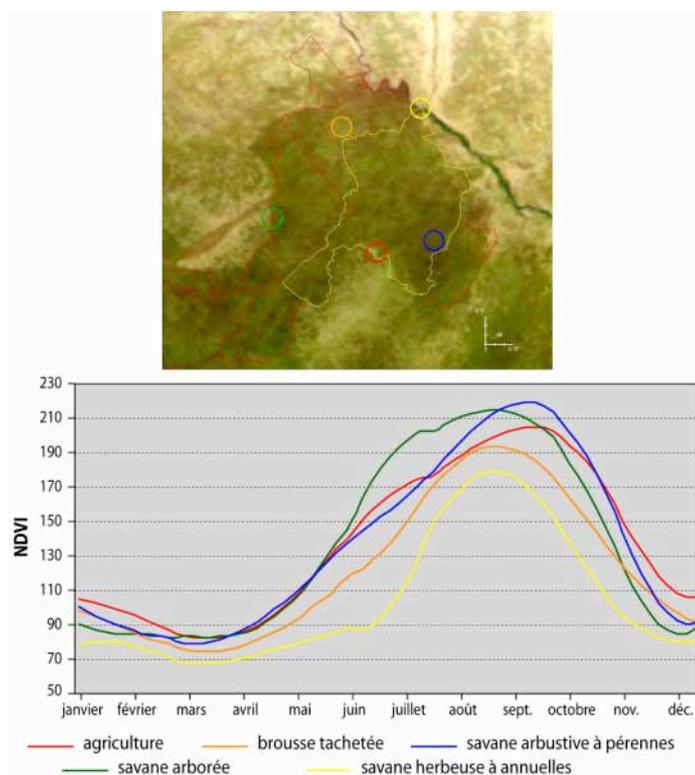


**Figure 1** : Détail d'une image Landsat-TM (30 m de résolution) et observations de terrain correspondantes (points blancs et n° correspondants) dans la région de La Tapoa (parc du W du Niger).

Les pistes sont indiquées en jaune. La boucle du fleuve Niger est visible dans la partie supérieure de l'image. Les surfaces brûlées apparaissent en noir.

## Évaluation de la saisonnalité de la végétation

En Afrique de l'Ouest, la durée respective des saisons sèches et humides conditionne le type de végétation, la quantité de biomasse végétale et le niveau des mares temporaires. Tous ces facteurs influencent la diversité biologique. Dans une perspective de gestion et d'aménagement des aires protégées pour la faune, il peut être très utile de connaître les variations saisonnières de la biomasse végétale, notamment son niveau et sa qualité aux périodes dites « de soudure ». Les capteurs optiques à haute fréquence d'acquisition, mais faible résolution spatiale, mesurent l'activité photosynthétique ou l'humidité des formations végétales, mais c'est l'indice de végétation de la différence normalisée (NDVI), rapport normalisé entre la réflectance infrarouge et rouge, qui est le plus souvent utilisé pour mesurer l'activité photosynthétique (fig. 2). L'intégration annuelle du NDVI calibrée par des mesures de biomasse sur le terrain permet de déterminer la disponibilité en phytomasse herbacée. Notons cependant des points fondamentaux comme l'appétibilité des espèces qui requerront toujours des investigations au sol. D'autre part, l'obtention de relations inter-annuelles stables entre les mesures satellitaires et la biomasse d'une part, et entre la quantité de biomasse végétale et la distribution des animaux d'autre part, n'est jamais simple et directe et demande la poursuite de recherches. L'occupation du sol est dérivée de la carte du couvert végétal du parc W (de Wispelaere *et al.*, 2003). On peut noter un démarrage tardif des savanes à herbacées annuelles, le décalage des zones agricoles, le départ rapide de la végétation dans les savanes arborées.



**Figure 2** : Synthèse annuelle et profil saisonnier de 5 types d'occupations du sol autour du parc W observé par le capteur Spot Vegetation pour l'an 2000

### *Suivi des feux et des surfaces brûlées*

Les feux de végétation jouent un rôle fondamental dans l'écologie des savanes. S'ils représentent une cause de destruction des milieux forestiers tropicaux humides, la majorité des scientifiques admettent qu'ils ne détruisent pas les savanes, mais qu'ils sont au contraire le principal facteur de leur maintien. Cette idée correspond à la notion d'« incorporation » d'une perturbation récurrente. La perturbation récurrente devient ainsi un élément du système, c'est-à-dire que le système exerce sur elle un certain contrôle, rendant possible une régulation et une stabilisation (Allen et Starr, 1982 ; Fournier, 2001). La suppression totale des feux ou la pratique des feux précoces ferait ainsi évoluer les savanes vers des milieux plus fermés et modifierait la physionomie et la composition de la végétation et l'équilibre de l'écosystème dans son ensemble. Il existe des études sur les effets des feux sur la végétation de savane à une échelle locale, mais elles ne concernent pas l'ensemble des milieux et les résultats en sont souvent difficiles à transposer à d'autres sites. L'amélioration des techniques de détection des feux et des surfaces brûlées à partir des images satellitales a fait récemment l'objet de nombreux raffinements algorithmiques. Il reste cependant difficile de faire le lien entre ces informations quantitatives extraites des données satellitales et les effets sur la végétation, particulièrement dans le cas des savanes sèches. Les recherches en cours visent à fournir les bases objectives pour définir une véritable politique de gestion des feux en fonction des vocations des différentes zones des aires protégées (tourisme de vision, conservation d'espèces ou d'écosystèmes particuliers...).

### *Analyse régionale de la distribution des feux*

Certains paramètres extraits de l'analyse régionale d'images à basse résolution spatiale permettent de caractériser le régime de feux qui est lié à chaque type de végétation, à la fragmentation spatiale du paysage et aux pratiques d'utilisation des terres. Ce sont :

- la longueur de la saison des feux et la période de brûlis la plus intense (feux précoces ou tardifs) ;
- la fraction brûlée de la végétation, autrement dit l'efficacité de la combustion ;
- la superficie moyenne des feux et leur distribution spatiale (fragmentation) ;
- les variations inter-annuelles temporelles et spatiales des feux ;
- l'activité circadienne des feux (Eva et Lambin, 1998).

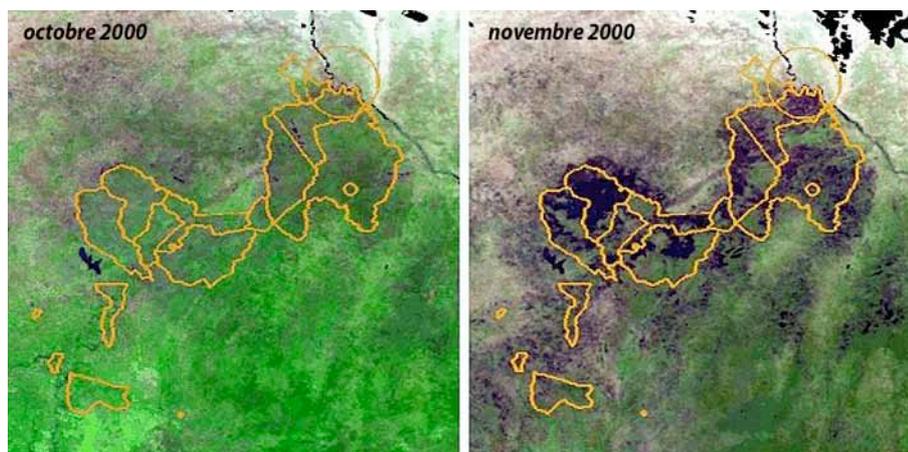
La détection des feux « actifs » et l'identification des surfaces brûlées à l'échelle régionale repose sur l'acquisition quotidienne et l'analyse d'images couvrant de grandes surfaces, mais à basse résolution spatiale (500 m à 1 km) : Noaa-AVHRR, ERS ATSR, Spot Vegetation (fig. 3).

C'est ainsi que le CCR a coordonné l'analyse d'un jeu de données Spot Vegetation de 14 mois (novembre 1999 à décembre 2000) pour en dériver une carte mondiale des surfaces brûlées pour l'an 2000 (Global Burnt Area ou GBA 2000, Grégoire *et al.*, 2003a et 2003b). Une dizaine de partenaires ont développé des algorithmes spécifiques à chaque écosystème afin d'extraire les surfaces brûlées d'images journalières. Le produit final est maintenant accessible (Joint Research Centre, 2002).

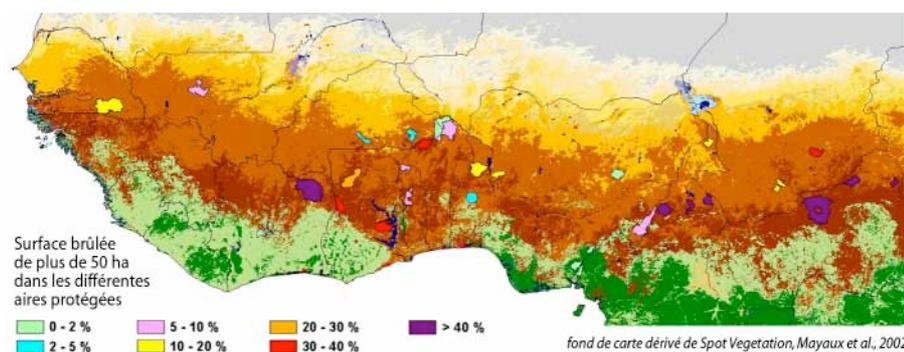
Les images Spot-Vegetation acquises entre le 1er et le 30 octobre (a) et entre le 1er et le 30 novembre (b) 2000 ont fait l'objet d'une synthèse de manière à ne retenir que les éléments d'image (pixels) non couverts par des nuages. Le parc du W est visible dans

le quart droit de la figure, en rive droite (Ouest) du fleuve Niger. Les surfaces brûlées apparaissent en noir/mauve foncé.

À partir des cartes mensuelles de surfaces brûlées, on peut calculer des statistiques (par pays, par aire protégée, par type d'occupation du sol), identifier les régimes de feux (feux précoces ou tardifs), analyser des agencements spatiaux... En ce qui concerne les aires protégées d'Afrique de l'Ouest, une telle analyse a montré des intensités de feux assez différentes entre sites pour l'an 2000. Par exemple, plus de 30 % de la Pendjari ou de la Comoé ont brûlé, alors que beaucoup moins de feux avaient parcouru le parc du W ou le Niokolo-Koba (fig. 4). Une telle analyse doit cependant se poursuivre sur plusieurs années avant de disposer d'indications fiables.



**Figure 3** : Synthèse mensuelle d'imagerie satellitale basse résolution spatiale (~ 1 km)



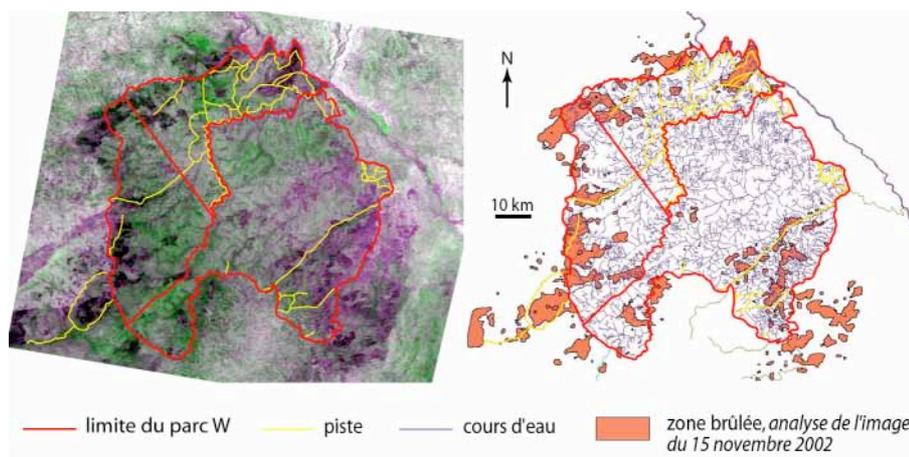
**Figure 4** : Proportion de la surface brûlée dans les différentes aires protégées en Afrique de l'Ouest.

Remarque : La carte de base est dérivée de Spot Vegetation (Mayaux *et al.*, 2002). Les feux de moins de 50 ha ne sont pas comptabilisés dans cette carte.

### Suivi des feux au sein des aires protégées

Pour fournir des informations utiles aux gestionnaires des aires protégées, une résolution spatiale plus fine que l'analyse régionale qui vient d'être décrite est nécessaire. Le CCR a commencé une telle collaboration avec le parc transfrontalier du W du Niger (programme Ecopas) pour fournir la position et l'étendue des surfaces brûlées en temps semi-réel. Ces informations sont actuellement extraites des images Modis à 250 m de résolution ; dans le futur, les images Meris à la même résolution seront utilisées. Les cartes sont disponibles tous les 5-6 jours. Ces images peuvent aider les gestionnaires du parc pour : (i) le contrôle de la réalité du programme de brûlis, (ii) l'estimation de la vitesse de propagation des feux, (iii) la détection des feux illégaux. Ainsi, le 13 mars 2003, un assistant technique du parc du W (Burkina Faso) a demandé au CCR de vérifier un feu important qui lui avait été signalé le 10 mars. Des données Modis couvrant la période du 3 au 17 mars ont été acquises, le 19 mars, la carte de synthèse des surfaces brûlées autour du 10 mars (du 3 au 10 et du 10 au 17) était envoyée à Ouagadougou, soit moins de six jours après la requête et 2 jours après la dernière acquisition satellitale (fig. 5).

Outre ces applications de gestion courante, des développements en cours permettront d'affiner la compréhension du rôle des feux dans l'évolution des aires protégées.



**Figure 5** : Détail d'une composition colorée Terra-Modis du 15/11/2002.

les limites du parc du W et les pistes principales sont indiquées en noir et rouge respectivement. Les surfaces brûlées (à la date du 15 novembre) apparaissent en mauve. L'intensité de la teinte fournit une indication de l'intensité du feu et de son caractère plus ou moins récent.

### Effet à long terme de la politique de gestion des feux

Le gestionnaire doit disposer d'indicateurs précis sur l'efficacité de sa politique de gestion des feux. Une archive précise des feux sur de longues périodes combinée à une analyse floristique, structurale et pédologique peut révéler les tendances de l'évolution des écosystèmes. L'attention se focalisera sur les zones qui sont chaque année sujettes soit à des feux précoces, soit à des feux tardifs.

## **Efficacité du feu**

Les travaux de recherche en cours couplent les observations des nouveaux capteurs (Meris, Modis) et des mesures au sol de la biomasse herbacée pré et post feu. Ils doivent permettre d'évaluer l'efficacité de la combustion et de caractériser la distribution spatiale des plages brûlées/non brûlées et leur relation avec le couvert ligneux.

## **Analyse spatiale des mesures de terrain**

Comme on vient de le voir, la collecte de données de terrain fiables reste une étape fondamentale de toute opération de cartographie de la végétation et de suivi des feux. On n'insistera jamais assez sur la réflexion nécessaire à propos de la nature des données à collecter, le plan d'échantillonnage et le type d'analyse statistique à mettre en œuvre.

L'avènement des cybertrackers (ordinateurs de poche PDA couplés avec des systèmes de positionnement par satellite GPS) a révolutionné la collecte des données de terrain. Ces dispositifs augmentent la qualité et la constance des mesures de terrain en permettant l'importation directe d'informations, sans erreur d'encodage, au sein de bases de données pour des analyses numériques et spatiales, dans un laps de temps et un format permettant au gestionnaire de prendre des décisions.

## **Conclusion**

À travers ces exemples, il apparaît très clairement que les techniques spatiales dépassent largement les domaines de recherche où elles étaient cantonnées et rendent chaque jour plus de services aux conservateurs des aires protégées dans leurs tâches de gestion quotidienne. À cet égard, la construction d'un système d'information géographique clairement orienté vers des objectifs de gestion est une nécessité absolue pour l'intégration de données dérivées de la télédétection et pour l'analyse fine des observations de terrain. Les systèmes d'information géographique permettent également une extrapolation régionale des conclusions tirées à l'intérieur de chaque aire protégée (Palumbo *et al.*, 2003), améliorant la gestion des sites existants ou aidant à en identifier de nouveaux.

La détection des feux sur de vastes surfaces fait appel soit à des capacités logistiques importantes soit à des compétences scientifiques et techniques très spécifiques. De même, la compréhension de l'impact des feux sur la dynamique de la végétation nécessite l'appui de spécialistes écologues. Ces compétences ne sont pas mobilisables au sein des programmes de conservation des aires protégées. Un lien entre les gestionnaires et des équipes de recherche en écologie des savanes et en télédétection contribue à maintenir une gestion au fait des derniers raffinements scientifiques. Les équipes de recherche peuvent, quant à elles, progresser plus rapidement dans l'identification de programmes de travail utiles à la gestion et dans la collecte d'informations en s'appuyant sur les projets de terrain.

## Bibliographie

- ACHARD F., EVA H. D., STIBIG H.-J., MAYAUX P., GALLEGO J., RICHARDS T., MALINGREAU J.-P., 2002 – Determination of deforestation rates of the World's human tropical forests. *Science*, 297 :999-1002
- ALLEN T. F. H., STARR Th. B., 1982 – *Hierarchy: perspectives for ecological complexity*. Chicago, The University of Chicago Press, 310 p.
- DE WISPELAERE G. *et al.*, 2003 – *Carte du couvert végétal, Programme régional des parcs du W, carte provisoire au 1 : 250 000*.
- EVA H. D., LAMBIN E. F., 1998 – *Remote sensing of biomass burning in tropical regions: sampling issues and multisensor approach*. *Remote Sens. Environ.* 64, 292-315
- FOURNIER A., 2001 – « *Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale* ». In FLORET C. et PONTANIER R. *La jachère en Afrique tropicale*. John Libbey Eurotext, Paris : 123-168
- GRÉGOIRE J.-M., TANSEY K., SILVA J. M. N., 2003a – *The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from Spot-VEGETATION imagery*, *Int. J. Remote Sensing*, 24, 6 : 1369-1376
- GRÉGOIRE J.-M., FOURNIER A., EVA H., SAWADOGO L., 2003b – *Caractérisation de la dynamique des feux et de l'évolution du couvert végétal dans le parc du W : Burkina Faso, Bénin et Niger*. Rapport d'expertise, Programme Ecopas, Ouagadougou
- JOINT RESEARCH CENTRE, 2002 – Global Burnt Area 2000 Project, <http://www.gvm.jrc.it/fire/gba2000/index.htm>
- MAYAUX P., BARTHOLOMÉ E., MASSART M., BELWARD A. S., 2002 – The Land Cover of Africa for the year 2000, *Land use and Land Cover Change (LUCC) Newsletter*, no. 8, december 2002, 4-6. <http://www.gvm.jrc.it/glc2000/ProductGLC2000.htm>
- PALUMBO I., GRÉGOIRE J.-M., BOSCHETTI L., EVA H., 2003 – *Fire regimes in protected areas of Sub-Saharan Africa, derived from the GBA2000 dataset, Innovative concepts and methods in fire danger estimation*, Joint EARSel - GOF/GOLD-Fire workshop, Ghent University, 5-7 June 2003

Ouvrage issu du séminaire de Parakou (Bénin), 14-19 avril 2003,  
organisé avec le soutien du gouvernement du Bénin, de l'Unesco, de la FAO, de l'IRD,  
de la région Centre (France) et de la Banque mondiale

# Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest ?

Conservation de la biodiversité  
et développement

---

Éditeurs scientifiques  
Anne Fournier, Brice Sinsin et Guy Apollinaire Mensah

**IRD Éditions**  
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Colloques et séminaires

Paris, 2007

**Secrétariat et mise en forme du texte**

Nathalie Claudé  
Neza Penet  
Anne Mouvet  
Catherine Noll-Colletaz  
Carole Marie

**Traduction**

Deborah Taylor

**Reprise des illustrations**

Christine Chauviat

**Fabrication**

Catherine Plasse

**Maquette de couverture**

Michelle Saint-Léger

*Photo de couverture*

© Julien Marchais, programme Enfants et éléphants d'Afrique – Des éléphants et des hommes « Groupe d'enfants de Boromo en classe Nature, réserve naturelle des Deux Balés, Burkina Faso »

*Photo page 2 de couverture*

© IRD / Jean-Jacques Lemasson – Sénégal. Vol de Sarcelles d'été (Famille: Anatidés, *Annas querquedula*). Première zone humide d'importance au sud du sahara, le parc national des Oiseaux du Djoudj (12 000 ha) est essentiel pour l'hivernage des migrateurs d'Europe du Nord et d'Afrique de l'Ouest (environ 3 millions d'oiseaux transitent, plus de 400 espèces dénombrées). Classé au patrimoine mondial de l'Unesco (1971) le parc national des Oiseaux du Djoudj compte parmi les premiers parcs ornithologiques du monde.

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2007

ISSN : 0767-2896

ISBN : 978-2-7099-1634-9