

DANIEL IDIATA-MAMBOUNGA

**FRÉQUENTATION DU
PARC NATIONAL DE LOANGO (GABON)
PAR LES ÉLÉPHANTS DE FORÊT**

Mémoire présenté

à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences forestières
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉOMATIQUE

UNIVERSITÉ LAVAL

QUÉBEC

JANVIER 2008

Résumé

Le but de cette étude était d'évaluer le degré d'association des éléphants de forêt (*Loxodonta cyclotis*) à l'ensemble des écosystèmes du parc national de Loango, sur la côte atlantique, au sud-ouest du Gabon. Six colliers GPS ont été fixés sur six éléphants femelles, de novembre 2003 à décembre 2004. Nos résultats ont révélé que les éléphants passaient la moitié de leur temps dans les savanes, et le reste du temps majoritairement dans les zones humides. Ces dernières étaient fréquentées de manière disproportionnée par rapport à leur disponibilité, ce qui n'était pas le cas des savanes ni des forêts. Toutefois, la fréquentation des habitats était fortement variable d'un groupe d'éléphants à l'autre, et d'une saison à l'autre. De plus, la fréquentation des zones humides était plus forte la nuit que le jour. Seules les cultures n'ont pas été visitées par les six groupes d'éléphants durant toute la période de cette étude. Malgré leur nom, les éléphants de forêt étudiés fréquentaient rarement les forêts présentes dans l'aire d'étude. Les résultats de cette étude indiquent la nécessité de prendre en compte les habitats des savanes et des zones humides dans les protocoles de suivi des éléphants.

Abstract

The goal of this study was to evaluate the degree of association of the forest elephants (*Loxodonta cyclotis*) to the entire set of ecosystems of the Loango national park, located on the Atlantic coast, in the south-west of Gabon. Six GPS collars were fixed on six female elephants, and monitored from November 2003 to December 2004 in. Our results revealed that elephants spent half of the time in savannas, and the rest of their time mostly in wetlands. The latter ecosystem was used disproportionately by elephants, unlike forests and savannas, which were used in proportion to their availability. However, habitat preferences varied greatly among elephant groups, and among seasons. Furthermore, wetlands were used predominantly at night. Only cultures were not visited by the six elephant groups during the study. Despite their name, forest elephants in this study rarely occurred in forests of the study area. The results of this study underline the need for taking into account the habitats of savannas and wetlands in forest elephant monitoring protocols.

Avant-propos

La survie de l'éléphant de forêt (*Loxodonta cyclotis*) suscite de nombreuses inquiétudes en raison de la chasse incontrôlée et de la dégradation de son habitat en Afrique centrale, attribuable entre autres au chômage et à la poussée démographique dans cette région. Malgré le renforcement des lois nationales et internationales protégeant les éléphants, cette espèce demeure l'objet de nombreux cas de braconnage. Il est connu de nos jours que l'éléphant participe à régénération des forêts tropicales africaines par son rôle capital dans la dissémination des graines. Il contribue au développement économique de plusieurs pays africains, du fait de l'attrait touristique qu'il suscite auprès des visiteurs internationaux. Conscient de l'utilité de cette espèce et de la menace de chasse qui pèse sur elle, lors de ses déplacements saisonniers, j'ai décidé d'entreprendre une étude sur la fréquentation saisonnière et circadienne des écosystèmes par des éléphants de forêt dans le complexe de Gamba pour aider à leur survie et à l'aménagement de ce site. La récession économique et la dévaluation du franc CFA en Afrique centrale conduisent la majorité des habitants à compter sur l'exploitation de la faune sauvage comme source principale de revenus. Bon gré, mal gré, chasseurs et naturalistes devront s'unir pour être plus efficaces car de leur compromis résultera la survie à long terme des éléphants de forêt.

Remerciements

Les fonds pour supporter cette étude proviennent de la *Wildlife Conservation Society* et du programme *Beinecke Scholarship* que je tiens à remercier de tout cœur. Je tiens aussi à remercier tous ceux de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude, particulièrement mon Directeur de recherche, André Desrochers pour avoir suivi de près l'évolution et l'aboutissement de ce travail. Je remercie aussi le gouvernement gabonais pour m'avoir accordé

deux années d'étude verticale dans le cadre de sa politique de renforcement des capacités. Ma gratitude s'adresse aussi à l'université Laval, pour ses facilités logistiques, disponibilité d'outils informatiques tels que SAS et ArcGIS. Je remercie également le fonds mondial pour la nature (WWF) et TECSULT International pour avoir mis à ma disposition la carte de végétation du site d'étude. Mes remerciements s'adressent particulièrement à Steve Blake pour avoir mis à ma disposition les données télémétriques utilisées dans le cadre de cette étude.

Je remercie les Docteurs Lee White, Peter Walsh, et Kate Albernethy pour m'avoir encouragé à étudier l'éléphant de forêt qui devient au fil du temps un de principaux centres d'intérêts des scientifiques contemporains, des naturalistes, des ONG et des organismes étatiques. D'ores et déjà, je voudrais améliorer ma capacité d'analyse des données de terrain pour contribuer efficacement à la protection de cette espèce et au développement de la science. Mon ambition initiale serait restée à l'état primaire sans l'encadrement de qualité offert par le Docteur Desrochers pour la réalisation de cette étude. Je voudrais donc le remercier infiniment pour avoir accepté de superviser mon travail de maîtrise, et ce depuis la première version de mon projet de recherche. Je ne voudrais pas terminer ce travail sans exprimer ma profonde gratitude aux populations du village de Setté-Cama, et au personnel de l'équipe d'inventaire biologique de WCS, qui m'ont aidé à mieux connaître l'éléphant de forêt sur le terrain.

Ce mémoire sera donc constitué d'un article scientifique qui sera soumis à *l'African Journal of Ecology* pour publication. Je serai le premier auteur de l'article; et André Desrochers, en sera le co-auteur.

DEDICACE à ma fille DOUTSONA IDIATA ODAVIA ESTHER, née en mon absence, pendant que j'étais déjà ici au Canada, pour la poursuite de mes études. Comme tu as su supporter mon absence de circonstance, c'est bien à toi que revient cette dédicace en signe de réconfort.

Table des matières

RESUME	II
ABSTRACT.....	III
TABLE DES MATIERES	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
LES ÉLÉPHANTS DU COMPLEXE D'AIRES PROTÉGÉES DE GAMBA.....	4
GPS ET MESURE DE SÉLECTION DES HABITATS.....	8
OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES	9
CHAPITRE I.....	11
INTRODUCTION	12
AIRE D'ÉTUDE ET MÉTHODES	14
<i>Télémetrie GPS</i>	19
<i>Classes végétales, saisonnières et circadiennes</i>	21
<i>Calcul des distances</i>	22
<i>Modélisation statistique</i>	22
RÉSULTATS	24
<i>Emplacement et variation saisonnière des domaines vitaux</i>	24
<i>Fréquentation des grandes catégories d'habitats du complexe</i>	26
<i>Fréquentation individuelle des habitats par les éléphants de forêt</i>	30
<i>Fréquentation circadienne des habitats par les éléphants de forêt</i>	31
<i>Fréquentation saisonnière des forêts</i>	31
<i>Fréquentation saisonnière des savanes</i>	32
<i>Fréquentation saisonnière des zones humides</i>	33
DISCUSSION	35
<i>L'importance de la variation individuelle</i>	36
<i>L'utilisation des domaines vitaux</i>	37
<i>La fréquentation saisonnière des habitats dans les domaines vitaux</i>	39
<i>Limites de l'étude</i>	42
CONCLUSION GÉNÉRALE	43
IMPLICATIONS POUR LA CONSERVATION	44
RÔLE DE CETTE ÉTUDE COMME MODÈLE	45
IMPORTANCE DES ZONES HUMIDES.....	46
PERSPECTIVES DE RECHERCHE	48
BIBLIOGRAPHIE.....	49
ANNEXE :	54
PROGRAMME D'ANALYSE DE DONNEES.....	54

Liste des figures

Figure 1. Répartition géographique de l'éléphant d'Afrique.	3
Figure 2. Le réseau des parcs nationaux du Gabon.	4
Figure 3. Le Complexe d'aires protégées de Gamba.	5
Figure 4. Parc national de Loango dans le complexe de Gamba.	15
Figure 5. Illustration de quatre principaux types d'habitats : forêt, zone humide, savane et culture.	16
Figure 6. Compositions végétales répertoriées dans le complexe de Gamba.	19
Figure 7. Localisation des domaines vitaux saisonniers par rapport à quatre catégories de végétation. Chaque panneau représente un individu différent. Notez le changement d'échelle entre les panneaux.	25
Figure 8. Variation de la composition des domaines vitaux des six éléphants étudiés.	25
Figure 9. Taille des domaines vitaux par individu et par saison.	26
Figure 10. Distance des éléphants par rapport aux habitats de forêt, de savane et de zone humide, en fonction des saisons. Une ligne de référence, zéro a été établie sur l'axe des ordonnées. Les valeurs négatives (en haut) sont indicatrices de préférence alors que les valeurs positives sont indicatrices d'indifférence ou d'évitement des éléphants à un habitat.	27
Figure 11. Localisation circadienne des éléphants par rapport aux habitats de forêt de savane et de zone humide, en fonction du jour et de la nuit. Une ligne de référence zéro a été établie sur l'axe des ordonnées. Cette ligne indique l'absence de préférence pour l'habitat considéré. Les valeurs négatives (en haut de la ligne de référence) indiquent une préférence pour l'habitat considéré.	31
Figure 12. Localisation individuelle des éléphants (GPS) et des points aléatoires face à la forêt.	32
Figure 13. Localisation individuelle des éléphants face à l'habitat de savane.	33
Figure 14. Localisation individuelle des éléphants face aux zones humides.	34

Liste des tableaux

Tableau 1. Superficie des habitats répertoriés dans le complexe de Gamba.....	18
Tableau 2. Fréquence et pourcentage des positions GPS et aléatoires dans les habitats de savane, de forêt et de zone humide.	24
Tableau 3. Proximité des habitats du site étudié dans le complexe de Gamba, Gabon.....	28
Tableau 4. Synthèse des localisations des éléphants par rapport à trois types d'habitats de forêt de savane et de zone humide. Les effets fixes d'un modèle linéaire mixte avec mesures répétées (sujets = 6 éléphants) sont présentés.....	30

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La grande faune de l'Afrique compte parmi les plus prestigieuses de la planète. Toutefois, la chasse commerciale a un impact substantiel sur elle. Selon un rapport du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) publié en 2002, les gorilles (*Gorilla gorilla*) et des chimpanzés (*Pan troglodytes*) sont des espèces menacées d'extinction si aucune action n'est entreprise pour assurer leur conservation (Nellemann and Newton, 2002). La chasse illicite, la déforestation et les épidémies de virus Ebola (Walsh *et al.*, 2003) sont les principales menaces qui pèsent sur les grands singes d'Afrique. Les grands carnivores au nombre desquels figurent les panthères (*Panthera pardus*) et les lions (*P. leo*) suscitent beaucoup d'inquiétude en Afrique depuis leur inscription dans la liste des espèces menacées d'extinction par la Convention de Washington dite Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvage menacées d'extinction (CITES, 1973). Plusieurs facteurs dont la diminution du nombre de proies, la chasse directe et les modifications d'habitats sont à l'origine de leurs perturbations (Henschel and Ray, 2003). Les populations de grands herbivores, tels que les buffles (*Syncerus caffer nanus*) et des hippopotames (*Hyppopotamus sp*), sont elles aussi menacées par la pression humaine due à l'accroissement démographique (Plumptre *et al.*, 2003). L'éléphant d'Afrique (*Loxodonta spp.*) n'est pas en marge de cette situation inquiétante. Utilisé pour le développement du tourisme, l'éléphant d'Afrique l'est aussi par le braconnage pour l'ivoire, et il est une source de conflits avec les humains pour l'occupation du territoire (Barnes *et al.*, 1995), les routes d'exploitation (Laurance *et al.*, 2005) et le morcellement de son habitat traditionnel.

L'éléphant d'Afrique compte deux sous-espèces, vivant dans deux écosystèmes différents, la savane et la forêt pluviale africaine. L'éléphant de savane (*L. africana*) est parmi les grands mammifères terrestres bien étudiés en Afrique (Kingdon, 1997), alors que l'éléphant de forêt (*L. cyclotis*) reste encore mal connu (Barnes *et al.*, 1995, White *et al.*, 1993). Les deux sous-espèces présentent entre elles des différences génétiques, morphologiques et écologiques. L'éléphant

de forêt est plus petit, avec des oreilles rondes, sans lobe, des défenses plus droites, minces et dirigées vers le bas comparativement à l'éléphant de savane (Sikes, 1971). Les éléphants de forêt vivent généralement en petits groupes de 3 à 6 individus, contrairement aux éléphants de savane qui forment de grands groupes allant jusqu' à plus de 10 individus (Blake et al., 2001, Douglas-Hamilton, 1996). Les récentes études génétiques suggèrent que les éléphants de savane et de forêt forment deux espèces distinctes (Roca *et al.*, 2001). L'éléphant de forêt est présent dans toutes les forêts des pays d'Afrique centrale appelées communément le « *bassin du Congo* », un territoire forestier d'environ 2 300 000 km², représentant 6 % de la surface forestière mondiale. Il est composé de la République démocratique du Congo (RDC), de la République du Congo, du Cameroun, de la République centrafricaine, de la Guinée équatoriale et du Gabon. Depuis longtemps, et de façon générale, les principales menaces qui pèsent sur les éléphants d'Afrique sont la grande chasse et l'expansion de la population humaine (Milner-Guilland and Beddington, 1993). L'éléphant de savane est beaucoup plus étudié que son congénère de forêt, lequel est encore mal connu. Le déclin de l'éléphant de forêt est notamment lié aux relations complexes de compétition entre les humains et les éléphants, pour l'accès aux ressources naturelles (Parker and Graham, 1989). Il est régulièrement menacé par la grande chasse lors de ses déplacements saisonniers en dehors des aires protégées (Kangwana, 1996). Pendant ses mouvements migratoires, l'éléphant joue un rôle déterminant dans la dissémination des graines (Alexandre, 1978, Anthony and Andrew, 2003, White, 1994b) contribuant ainsi à la régénération des forêts dans les zones moins peuplées par les humains.

Le Gabon est un des principaux territoires où se concentrent les éléphants de forêt (Figure 1). Ce pays occupe une superficie totale de 267 667 km², dont environ 80 % est constitué de forêt. Il est le deuxième plus grand pays forestier du bassin du Congo avec 20 millions d'hectares de forêts régulièrement visités par les éléphants. Avec une faible densité de population humaine (4 habitants/km²), le Gabon présente d'excellents habitats pour la conservation des éléphants de forêt.

Il est connu que le Gabon dispose de plusieurs aires inhabitées où la densité des éléphants est facilement estimée à plus de 2 éléphants/km² (White, 1994a).

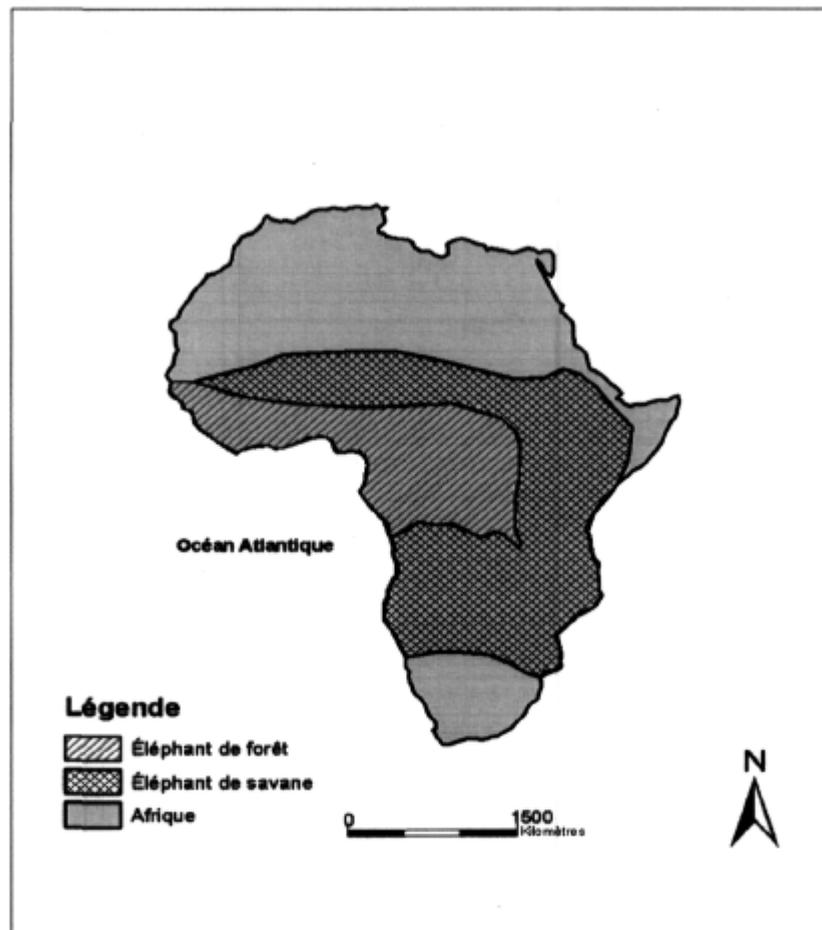


Figure 1. Répartition géographique de l'éléphant d'Afrique.

Conscient du potentiel faunique et floristique dont dispose le Gabon, le Président de la république gabonaise a créé en août 2002, un réseau de treize parcs nationaux (Figure 2). Bien que ce réseau représente environ 11 % du territoire national, les éléphants semblent aussi passer beaucoup de leur temps en dehors des aires protégées (Whyte, 1996).

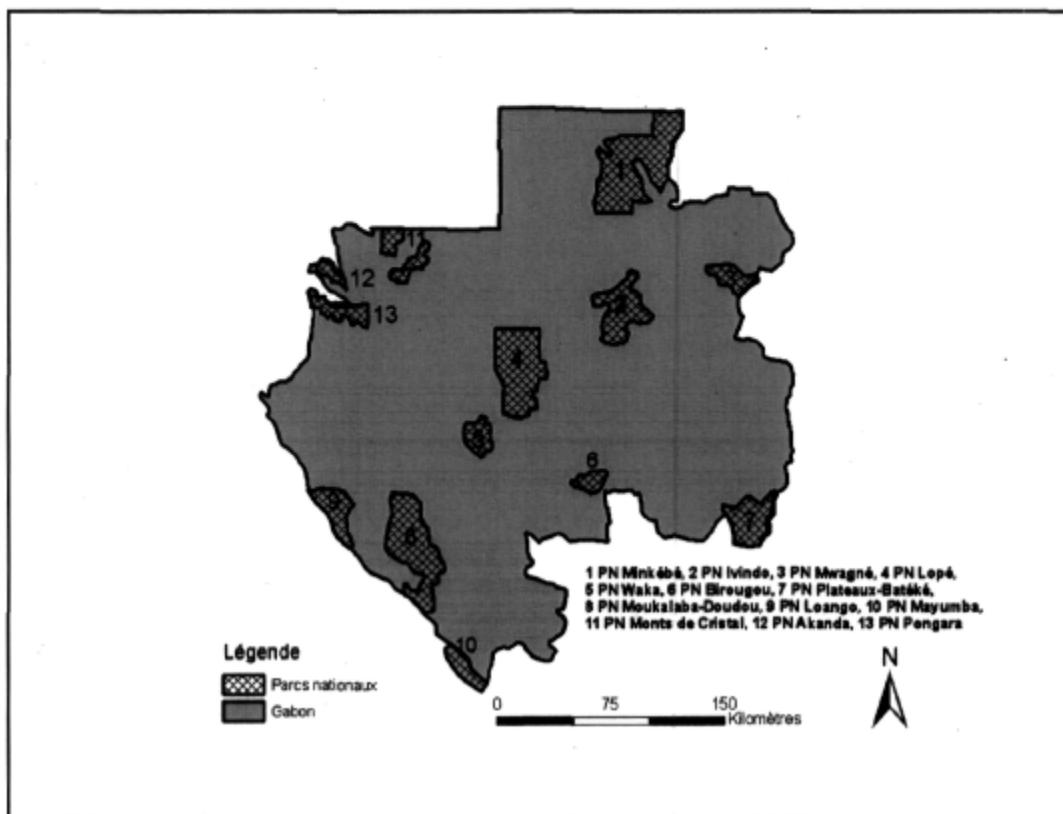


Figure 2. Le réseau des parcs nationaux du Gabon.

Les éléphants du complexe d'aires protégées de Gamba

Depuis 1988, les éléphants du complexe d'aires protégées de Gamba (« Complexe de Gamba ») ont fait l'objet de plusieurs études dont le but initial était d'évaluer leur abondance (Barnes *et al.*, 1992). Ce lieu est composé de deux parcs nationaux (parc national de Loango, dans sa partie Ouest et le parc national de Moukalaba-Doudou à l'Est). Avant la création du nouveau réseau de treize parcs nationaux au Gabon, le complexe de Gamba était composé de quatre domaines de chasse, de trois réserves de faune et d'une aire d'exploitation rationnelle de faune. Au total, 1 132 000 hectares constituent l'ensemble du complexe de Gamba (Figure 3).

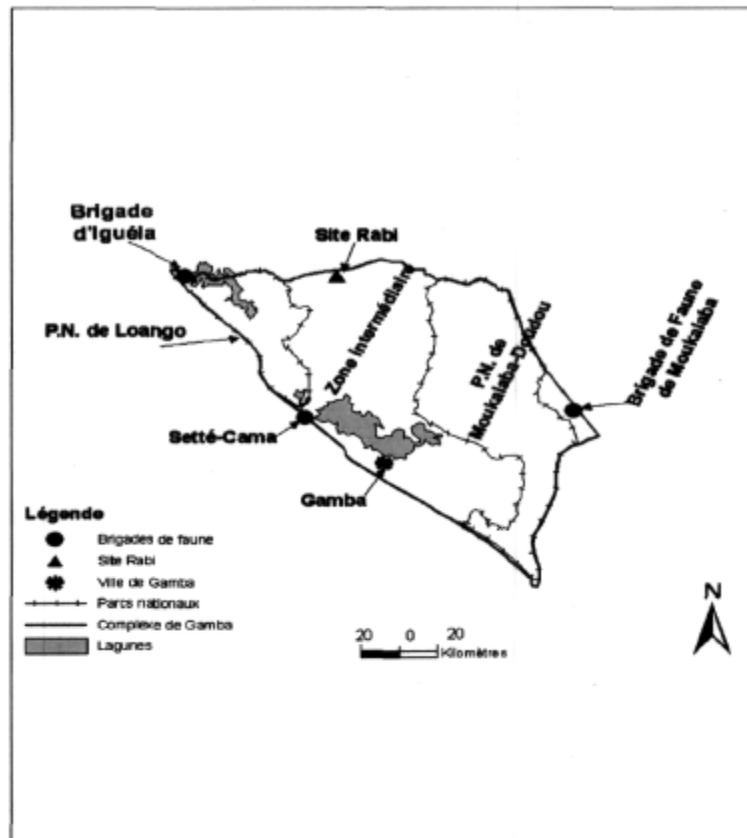


Figure 3. Le Complexe d'aires protégées de Gamba.

Il est connu que les éléphants du complexe de Gamba se déplacent en évitant les zones de chasse et d'activités humaines (Barnes et al., 1992, Walsh et al., 2000). A l'issue des travaux basés sur les relevés de pistes et des crottins (Walsh *et al.*, 2000), il a été constaté que les éléphants du complexe de Gamba fréquentent davantage les terrains plats non accidentés que les zones de montagnes. Ils affectionnent particulièrement la façade atlantique, à l'ouest du site, apparemment à la recherche de la végétation plus jeune de basse altitude, comparativement à l'est du site où se trouve une végétation vieille et de haute altitude (Barnes et al., 1992, Suzuki et al., 1999). Récemment, il a été démontré que la chasse et les routes affectent les éléphants du complexe par la pression de la chasse de subsistance (Laurance *et al.*, 2005). Selon cette dernière étude, l'évitement des routes par les éléphants de Gamba serait plus intense à l'extérieur des concessions pétrolières. Les routes sans contrôle localisées à l'extérieur des

concessions pétrolières seraient les plus utilisées par les chasseurs locaux. A l'intérieur des concessions, les activités de la chasse de subsistance sont interdites et un système de contrôle contre la chasse illicite est mis en place.

Le régime alimentaire des éléphants du complexe est essentiellement basé de feuilles, d'écorce d'arbre, de moelle de plante et de plantes herbacées. La qualité des habitats et le nombre d'espèces de fruits consommés par ces éléphants varie avec les saisons (Barnes et al., 1992, Suzuki et al., 1999). Dans le complexe de Gamba, les fruits sont présents de façon saisonnière et leur production est corrélée à la pluviométrie (Suzuki *et al.*, 1999). En saison sèche, la végétation herbacée s'appauvrit en qualité et devient impropre à la consommation pour les éléphants de forêt. Aussi, le nombre d'espèces d'arbres en fructification baisse, ce qui limite la capacité de nourriture disponible pour les éléphants de forêt dans le complexe. En saison humide, la capacité de nourriture est la plus importante du fait que le nombre d'espèces d'arbres en fructification augmente dans la forêt. Pendant ce même temps la végétation herbacée qui se régénère en abondance dans les savanes devient une nourriture prisée par les éléphants.

Il a été suggéré qu'il existe une séparation de niche alimentaire entre les éléphants de forêt et les grands primates, c'est-à-dire les gorilles et les chimpanzés du complexe (Suzuki *et al.*, 1999). Le régime alimentaire des éléphants diffère de celui des primates rencontrés localement par la consommation des fruits, d'aliments fibreux et possiblement la sélection d'habitats par saison. La valeur des habitats n'est pas uniforme dans le temps et dans l'espace, ce qui pourrait expliquer la variation temporelle de la fréquentation de ces derniers.

Par ailleurs, la chasse de subsistance dans certaines zones du complexe pourrait éventuellement contraindre les éléphants à établir leurs domaines vitaux uniquement dans les milieux protégés. Jusqu'à présent les éléphants du complexe de Gamba semblent avoir peu souffert de la chasse intensive, bien que leurs nombres soient plus bas au sud du complexe, où se trouve la ville de Gamba.

D'après les conclusions des travaux des études préliminaires sur les transects, les éléphants de forêt se déplacent surtout le long des grandes rivières pendant la saison sèche; le nombre total estimé des éléphants du parc national de Loango varie entre 1500 et 2000 individus. Dans les zones de chasse, les éléphants se déplacent de préférence la nuit (Tello, 2000), présumément pour éviter les conflits avec les humains; le jour, les éléphants se reposent aux endroits difficiles d'accès aux humains.

L'essentiel des connaissances présentées ci-dessus provient de transects ramifiés (« *recces* ») le long desquels les crottins et les pistes d'éléphants étaient notés (Walsh et al., 2000, White and Edwards, 2001). Bien que les *recces* procurent facilement des informations sur les activités des éléphants, ils ne procurent pas un portrait détaillé des types d'habitats dans lesquels se concentrent les éléphants aux fines échelles temporelles et spatiales. Les *recces* n'offrent pas la résolution temporelle nécessaire pour distinguer les activités diurnes et nocturnes des éléphants de forêt, distinction pourtant essentielle dans l'écologie de cette espèce. Par ailleurs, les transects et les *recces* permettent d'estimer l'abondance des éléphants dans des zones uniquement accessibles aux humains. Aussi, la méthode des *recces* requiert la supposition que les individus et les groupes sociaux sélectionnent les habitats de la même manière, ce qui est probablement faux. De plus, il est impossible de mesurer avec précision la taille ou l'emplacement des domaines vitaux utilisés par les éléphants suivant cette méthode. Les éléphants responsables des conflits majeurs contre les populations humaines, ne peuvent pas être localisés à partir des *recces*. Pourtant de telles informations, au niveau comportemental plutôt que de la population, semblent indispensables à la gestion locale de cette espèce, à l'anticipation des conflits avec les riverains, et ultimement, à la conservation de l'espèce.

GPS et mesure de sélection des habitats

Les problèmes de conservation de l'Éléphant de forêt ainsi que de nombreuses autres espèces amènent souvent les écologistes à utiliser la théorie de la sélection des habitats afin d'établir un diagnostic et de proposer des solutions. Trois principaux modèles théoriques de sélection d'habitats existent (Thomas and Taylor, 1990), selon que la disponibilité et l'utilisation des habitats soient évalués pour l'ensemble des individus, sans égard aux différences, à l'intérieur du site d'étude (modèle I); que l'utilisation des habitats dont la disponibilité soit supposée égale entre tous les individus, soit estimée pour chaque individu (modèle II); que l'utilisation et la disponibilité des habitats (p. ex., à l'intérieur du domaine vital) soient toutes les deux estimées séparément pour chaque individu (modèle III). Il existe également plusieurs échelles de sélection d'habitats (Johnson *et al.*, 1992), à partir d'une structure hiérarchique: la répartition d'une espèce dans une localité ou une région constitue une sélection de premier ordre; le domaine vital occupé par chaque individu représente une sélection de deuxième ordre et l'utilisation préférentielle de certains habitats à l'intérieur du domaine vital constitue une sélection de troisième ordre. Évidemment, aucun de ces niveaux conceptuels n'a préséance sur les autres, ils sont plutôt complémentaires. Il est connu que les jeunes éléphants femelles auraient tendance à vivre dans les groupes de naissance, alors que les jeunes mâles quittent souvent ces groupes de naissance pour se joindre à d'autres mâles issus d'autres groupes (Cohn, 2007). On pourrait donc s'imaginer que les patrons de variation des habitats entre les domaines vitaux sont indicateurs d'interactions sociales entre les groupes d'éléphants, tandis que les variations dans l'utilisation des habitats à l'intérieur des domaines vitaux pourraient refléter une ségrégation plus subtile des habitats entre les individus d'un même groupe.

Des progrès technologiques (p. ex., le Système de positionnement global, GPS) et analytiques récents en écologie animale nous permettent maintenant de

nous adresser plus en profondeur aux problèmes présentés au début de l'introduction. Le grand nombre de localisations générées par les colliers GPS se prête bien à l'application de trois approches statistiques populaires de mesure de la sélection des habitats: l'analyse compositionnelle (Aebischer et al., 1993), la délimitation de domaines vitaux (Worton, 1987) et les fonctions de sélection des ressources (Manly, 2002). Malgré leurs nombreuses applications, les méthodes basées sur la partition des positions d'animaux parmi un nombre limité de classes d'habitats ignorent généralement certains aspects essentiels des paysages, tels que les lisières et les ressources ponctuelles (arbres fruitiers, points d'eau, etc). L'essor des systèmes d'information géographique (SIG) permet d'utiliser non seulement des méthodes basées sur la composition des habitats fréquentés, mais aussi sur la distance des animaux par rapport à différents habitats, indépendamment de leur nature géométrique (surfaces, linéaires ou ponctuels). En fait, les méthodes basées sur les distances (Conner et al., 2003) sont les plus appropriées pour procurer des informations sur l'influence de l'ensemble des types de ressources dans la répartition spatiale des animaux. Les méthodes basées sur les distances permettent d'évaluer l'importance de la *proximité* des habitats, un aspect négligé par les approches traditionnelles. À l'aide des points de localisations répertoriés à l'intérieur des classes d'habitats, Conner et al. (2003) ont établi une approche analytique analogue aux fonctions de sélection des ressources, qui permet de quantifier la préférence des animaux à certains types d'habitats, par rapport à la disponibilité. En comparant des distances de localisation aux classes d'habitats à des distances générées à partir de points aléatoires, ils ont pu déterminer chez le Colin de Virginie (*Colinus virginianus*) l'utilité et le degré d'association des individus à diverses classes d'habitats, mais aussi aux lisières. Cette approche, quoique simple, demeure peu utilisée actuellement en écologie animale.

Objectifs et hypothèses

L'objet de cette étude est d'examiner en détail la fréquentation des habitats par les éléphants de forêt du complexe, pour me permettre de préciser les

principes directeurs actuels ayant pour objet la conservation locale de cette espèce. Pour être plus spécifique, je propose d'évaluer les patrons annuels et quotidiens de fréquentation d'habitats, par les éléphants de forêt dans le Complexe de Gamba. Je me sers de données sur six femelles porteuses de colliers GPS (*Global Positioning System*). Je propose de tester principalement les prédictions suivantes, toutes basées sur les résultats de travaux antérieurs effectués dans le complexe de Gamba (résumés ci-dessus) ainsi que l'opinion experte des personnes qui ont réalisé ces études:

1. La taille des domaines vitaux augmente en saison de pluie.
2. La fréquentation relative des milieux varie selon la période de l'année.
3. Pendant la saison sèche les éléphants désertent les savanes et se concentrent à l'intérieur ou autour des grands marécages.
4. La fréquentation des habitats varie selon la période circadienne.

CHAPITRE I

Fréquentation saisonnière et circadienne des habitats par les éléphants de forêt dans le parc national de Loango, Gabon¹

¹ Cet article sera traduit en anglais et soumis à la revue *African Journal of Ecology*

Introduction

Bien que l'éléphant de forêt (*Loxodonta cyclotis*) soit encore abondant en Afrique centrale, cette espèce est l'objet de préoccupations croissantes (Blake and Simon, 2004). En dehors de la réduction d'habitats, les activités humaines telles que les routes peuvent occasionner des changements comportementaux chez les animaux et affecter négativement leur cycle de reproduction (Trombulak and Frissell, 2000). Pour conserver les éléphants de forêt, il est évident que la connaissance de leurs habitats préférentiels est essentielle (Barnes *et al.*, 1995). Depuis plus de vingt ans, des recherches basées sur des signes de présence ont été menées au Gabon et dans les pays voisins de la sous-région (Congo, Cameroun, RDC), afin de dresser un portrait général de la fréquentation des habitats par l'éléphant de forêt. Toutefois ces travaux n'ont pas été conçus spécifiquement pour élucider en détails les mouvements des éléphants de forêt, particulièrement lors de différentes saisons ou périodes de la journée, ou encore dans les lieux où il est impossible de détecter des pistes. Il existe donc encore peu de données détaillées sur la fréquentation des habitats par les éléphants de forêt ou encore leurs domaines vitaux. Pourtant, une connaissance plus approfondie de la fréquentation des habitats par les éléphants du Gabon pourrait d'une part éclairer les décisions des gestionnaires de la faune en matière de protection du territoire. D'autre part, une telle connaissance apparaît indispensable pour anticiper les risques de conflit majeurs avec les populations humaines environnantes.

Des travaux récents au Gabon indiquent la présence de nombres élevés d'éléphants à proximité des plages, par exemple dans le complexe de Gamba (Walsh *et al.*, 2001). Au-delà des plages et de leurs effets potentiels, de nombreuses ressources côtières telles que les marécages et l'abondance de fruits, pourraient attirer les éléphants en ces endroits. Un examen détaillé des patrons de déplacements des éléphants pourrait élucider l'utilisation des ressources côtières. Par exemple, on imagine que les éléphants doivent rechercher les fruits à plusieurs échelles spatiales. Cependant, quand les ressources alimentaires

diminuent au cours des saisons, les éléphants doivent se diviser en petits groupes, possiblement pour rendre la recherche de la nourriture plus efficace (Barnes, 1983, Western and Lindsay, 1984). De plus, les éléphants ont besoin d'accès à l'eau, une tendance qui devrait diminuer et même s'inverser en saison humide, lorsque les rivières s'inondent, perturbant la végétation voisine. En saison sèche, les éléphants pourraient utiliser de façon préférentielle les habitats localisés à proximité des marécages ou à l'intérieur de ceux-ci, soit hors de portée des méthodes traditionnelles basées sur la présence de pistes et de crottins.

Les déplacements des éléphants pourraient aussi être influencés directement par les activités humaines (Blaney and Thibault, 2003) dans le Complexe de Gamba. L'industrie pétrolière dans cette région du Gabon a favorisé la croissance démographique et des infrastructures de la ville de Gamba, ce qui exerce une pression sur certains écosystèmes fréquentés par les éléphants (Bourgeois, 2001). La construction des infrastructures comme les routes est reconnue pour affecter grandement la répartition des animaux (Brody and Pelton, 1989, Nellemann and Cameron, 1998). De plus, les activités humaines, telles que la construction des pipelines et l'ouverture des layons sismiques fragmentent et isolent probablement les habitats fauniques (Bourgeois, 2001).

La technologie GPS (*Global Positioning System*) peut pallier aux limites des études précédentes sur la fréquentation des habitats par les éléphants, lesquelles étaient souvent basées sur des transects ramifiés (*recces*) (White and Edwards, 2001, Whitesides et al., 1988). Grâce au GPS, il semble dorénavant plus facile d'identifier des habitats essentiels à la conservation d'espèces (Benaka, 1999). Bien que l'usage des colliers GPS appliqué sur les éléphants, existe en Afrique de l'Est depuis plus d'une décennie (Thouless et al., 1992), il n'en demeure pas moins qu'au niveau de l'Afrique centrale, c'est seulement récemment qu'il a été expérimenté dans deux pays, au Cameroun et au Congo Brazzaville (Blake *et al.*, 2001). Le Gabon a récemment emboîté le pas, dans les parcs nationaux de Loango, de la Lopé et de l'Ivindo.

La présente étude s'est déroulée dans le parc national de Loango, localisé dans le complexe de Gamba. L'étude vise à utiliser des fonctions de sélection des ressources appliquée aux distances par rapport aux divers habitats (Conner *et al.*, 2003), afin de comprendre la fréquentation des principaux écosystèmes disponibles par les éléphants. Plus spécifiquement, nous testons si 1) La taille des domaines vitaux augmente en saison sèche; 2) la fréquentation relative des milieux varie selon la période de l'année; 3) pendant la saison sèche les éléphants désertent les savanes et se rabattent autour des grands marécages, 4) la fréquentation des milieux ouverts est plus grande à proximité de la forêt que loin de celle-ci.

Aire d'étude et Méthodes

Le parc national de Loango est situé sur la façade atlantique du Gabon, à proximité de plages inhabitées (02°01'S, 09°23'E). Ce parc national est essentiellement constitué de végétation côtière, de forêt à *Sacoglottis gabonensis*, de savanes et de galeries forestières. Il est délimité au nord par la lagune d'Iguéla et au sud par la lagune N'dogo et à l'ouest par l'océan Atlantique. Plusieurs marécages entourés de végétation secondaire composent le relief de ce parc. La zone dans laquelle tous les domaines vitaux ont été recensés est entièrement à l'intérieur du parc national de Loango (Figure 4). Cette zone dispose notamment des habitats de savanes et des zones humides. Vu que le parc national de Loango est localisé à proximité de la plage, il reste une zone relativement facile d'accès et abrite une population d'environ 2000 éléphants (Barnes *et al.*, 1995).

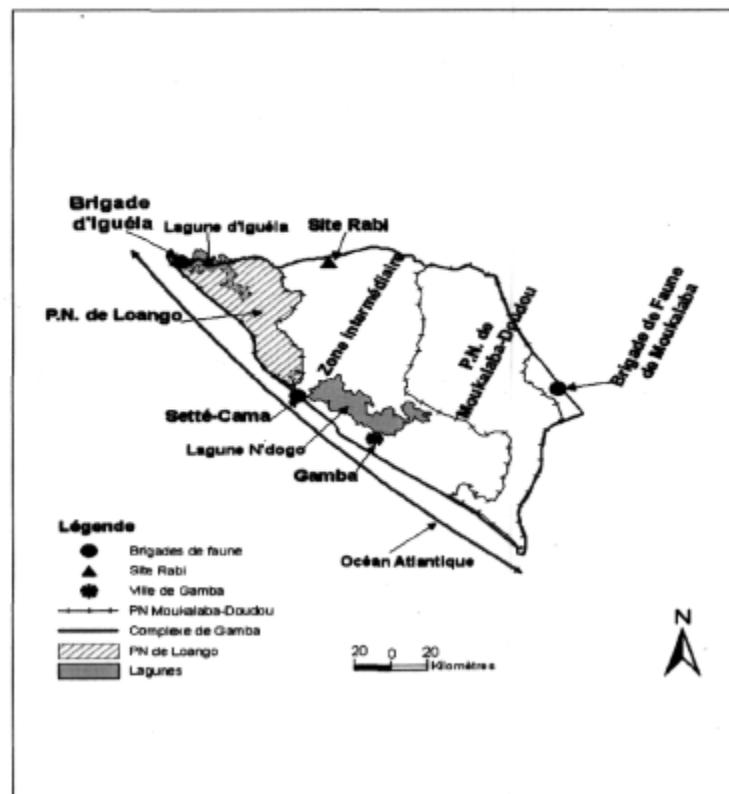


Figure 4. Parc national de Loango dans le complexe de Gamba.

Nous avons utilisé une carte au 1/200 000 préparée par le Ministère des Eaux et Forêts du Gabon en collaboration avec le Fonds Mondial pour la Nature, sous la consultation de TECSULT International (Québec, Canada), en 1998. Cette carte thématique caractérise 25 types de végétation sur l'ensemble du complexe de Gamba (Tableau 1). Pour des fins d'analyse statistique, nous avons dû regrouper ces types de végétation en quatre groupes: forêt, aquatique, savane et cultures (Figure 5).



Figure 5. Illustration de quatre principaux types d'habitats : forêt, zone humide, savane et culture.

Les terres forestières de sol ferme (« forêts ») représentent 67 % du territoire et incluent la forêt primaire (FP), soit les vieilles forêts où l'on trouve généralement une grande variété de Césalpiniacées incluant *Monopetalanthus*, *Berlinia*, *Beilschmeidia* et *Guibourtia*. On distingue les forêts primaires des forêts secondaires adultes (SA), qui regroupent un vaste ensemble de peuplements de transition et des forêts secondaires jeunes (SJ) désignant la végétation dégradée caractérisée par la présence d'espèces de lumière comme l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*) et l'Ozigo (*Dacryodes buettneri*). Les terres forestières de sol hydromorphe (« zones humides ») représentant 24 % du territoire, regroupent les formations végétales qui s'inondent par saison (MT) ou en permanence (MP) dans le complexe. Ces peuplements sont généralement purs mais ils peuvent être accompagnés à l'occasion de quelques essences forestières marécageuses telles que les *Alstonia congensis* et les cypéracées *Cyperus papyrus*. Les terres mixtes

de cultures (« cultures ») représentent 3 % du territoire et désignent les zones agricoles (CC), non loin des villages (HA) où la culture vivrière occupe la majeure partie du sol. Finalement, les savanes et galeries forestières (« savanes »; 6 % du territoire) sont soit arbustives et graminéennes (SV), généralement d'origine anthropique. Les savanes représentent des végétations herbacées regroupées en complexe avec les Galeries forestières (SG). Elles forment des habitats linéaires atteignant quelques centaines de mètres de largeur.

Tableau 1. Superficie des habitats répertoriés dans le complexe de Gamba.

Acronyme	Description	Surface (km ²)
TERRES FORESTIÈRES DE SOL FERME (« FORÊT »)		
FP	Forêt primaire dense humide sempervirente	1.39
FPIN	Forêt primaire dense humide sempervirente inaccessible	20.80
FM	Forêt primaire de moyenne altitude	172.85
FMIN	Forêt primaire de moyenne altitude inaccessible	265.25
SAOK	Forêt secondaire adulte à Okoumé	13.61
SA	Forêt secondaire adulte	9154.24
SAIN	Forêt secondaire adulte inaccessible	133.48
SJOK	Forêt secondaire jeune et en régénération à Okoumé	142.79
SJ	Forêt secondaire jeune et en régénération	883.25
VC	Végétation côtière	44.79
TERRES FORESTIÈRES DE SOL HYDROMORPHE (« HUMIDE »)		
MH	Mangrove haute	1.17
MB	Mangrove basse	1.31
MP	Forêt marécageuse inondée en permanence	1208.18
MT	Forêt marécageuse inondée temporairement	2220.05
RA	Forêt marécageuse à Raphia	118.05
DH	Dénudée humide	197.94
DS	Dénudé sec ¹	11.15
PY	Papraie	79.30
TERRES MIXTES DE CULTURE (« CULTURE »)		
SC	Forêt secondaire avec complexe cultural	232.39
CS	Complexe cultural avec forêt secondaire	130.02
CC	Complexe cultural	127.89
HA	Habitation	11.92
SAVANES ET GALERIES FORESTIÈRES (« SAVANE »)		
GF	Galerie forestière	101.17
SG	Complexe savane-galeries forestières	234.48
SV	Savane arbustive, herbacée et steppe	692.21

¹ Ce terme trompeur réfère aux végétations humides côtières de basse altitude

Les terres forestières et les zones humides sont bien réparties sur le territoire, alors que les savanes et cultures se retrouvent principalement en périphérie (Figure 6).

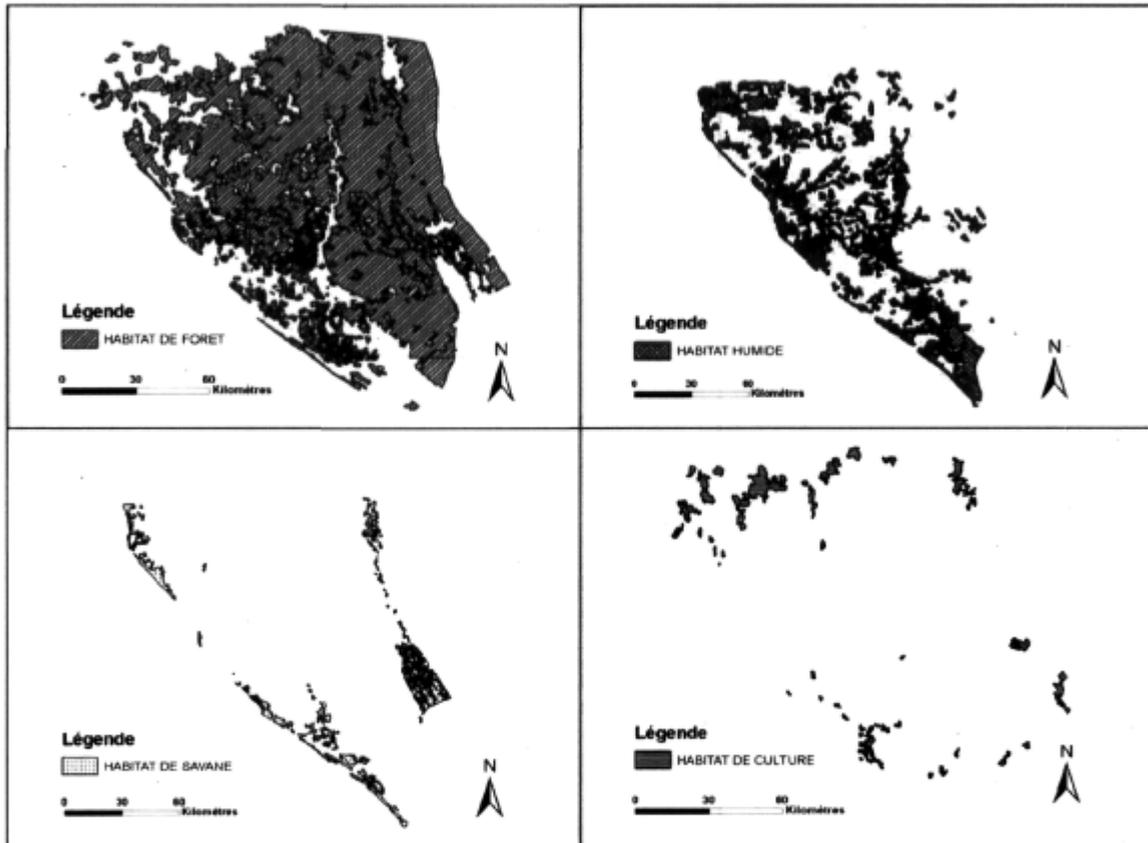


Figure 6. Compositions végétales répertoriées dans le complexe de Gamba.

Télémetrie GPS

Les chances d'obtenir un positionnement en forêt pourraient être moindres qu'en savane ou dans les marécages, car la canopée peut affaiblir le signal entre le récepteur au sol et les satellites (DeCesare *et al.*, 2005). Cette contrainte aurait pu influencer la qualité des localisations même si le relief du parc national de Loango est reconnu relativement bas et ouvert par endroit, pour faciliter le captage des satellites par les colliers GPS fixés sur les éléphants. Nous assumons dans

cette étude que la réception des signaux GPS n'était pas suffisamment différente d'un milieu à l'autre pour biaiser les résultats.

Six colliers GPS ont été fixés sur six éléphants femelles dans le parc national de Loango. Cette opération de la *Wildlife Conservation Society* s'inscrivait dans le cadre d'un projet sous-régional de recherche sur le suivi des éléphants par satellite, initiée et coordonnée par S. Blake. Le choix de six éléphants femelles a été motivé par le fait que, c'est la femelle la plus âgée du groupe qui dirige ce dernier (Barnes *et al.*, 1995). Au total 6 groupes d'éléphants, dont le nombre moyen était de 2 à 3 éléphants par groupe (Blake *et al.*, 2001) ont été retenus dans cette étude. Le choix des individus pour l'immobilisation était mis à exécution que si l'animal paraissait en bonne santé, adulte, non membre d'un groupe semblant plus important, pas une femelle avec des petits.

Tous les individus ont été tirés lorsqu'ils s'alimentaient dans les savanes à proximité de la plage pour permettre à l'équipe de bien les observer et d'ajuster leurs tirs depuis un abri à une distance moyenne de 40 mètres. Pour être immobilisés, les éléphants ont reçu des doses d'injection d'hydrochorie de Carfentanil, (CarfentanilTM), administré à partir d'une seringue. Les éléphants s'endormaient généralement dans les cinq à dix minutes qui suivaient l'injection de Carfentanil. Une fois l'éléphant endormi, son cou était mesuré, et un collier GPS lui était fixé de la façon la plus confortable possible pour éviter le blocage des récepteurs par les oreilles. Lorsqu'un éléphant s'endormait, plusieurs procédures de base étaient effectuées par un vétérinaire de la *Wildlife Conservation Society*, qui prélevait des échantillons de crottins, de sang, de poils et de tiques. Après la fixation du collier, l'éléphant recevait une autre injection de NaltrexoneTM, antidote au Carfentanil, pour arrêter l'anesthésie en moins de sept minutes.

Nous avons enregistré les déplacements des éléphants porteurs de colliers GPS entre novembre 2003 et décembre 2004. L'intervalle de temps entre les points était fixé à deux heures, quatre heures et huit heures pour permettre aux colliers de durer le plus longtemps possible. L'intervalle de huit heures permettait

d'obtenir les points suffisamment indépendants pour minimiser les effets d'autocorrélation spatiale; le choix de deux heures permettait d'estimer la vitesse relative de déplacement de l'éléphant dans chaque type d'habitat. Enfin, les quatre heures d'intervalle ont servi à faire la balance entre les deux premiers intervalles. Au delà de cet intervalle, une opération chimique appelée « passivation » pouvait occasionner une détérioration des batteries : il s'agit d'une oxydation de la cathode qui survient quand les températures sont élevées au-delà 25 °C ou quand les colliers sont configurés pour prendre très peu de points de localisations par jour. Avec cette programmation, nous voulions nous assurer de la prolongation optimale de la durée de vie des colliers et ainsi de la collecte des informations sur une plus longue période possible.

Classes végétales, saisonnières et circadiennes

Afin d'évaluer la fréquentation des habitats par rapport à la disponibilité, nous avons utilisé les quatre grandes classes de végétation décrites dans le Tableau 1. Ces « habitats » ont été choisis en tenant compte des caractéristiques végétales, habituellement recherchées par les éléphants, selon la littérature et les observations directes de terrain. Ces classes de végétation ont été délimitées à l'aide de la partie de la carte de végétation du complexe de Gamba regroupant l'ensemble des domaines vitaux étudiés. Le domaine vital de chaque femelle a été délimité par la méthode des polygones convexes (ESRI, 2006), à l'aide de l'extension *Hawth's Tools* (<http://www.spatial ecology.com/>) de ArcGIS 9.2, ESRI (2006).

Nous avons ainsi subdivisé les données GPS en quatre saisons. La première saison allait du début de mois de septembre à la fin du mois de décembre; celle-ci correspond bien à la première (courte) saison de pluie au Gabon. La deuxième saison allait du début du mois de février à la fin du mois de mai et correspond à la longue saison de pluie au Gabon. La troisième saison représentait la longue saison sèche au Gabon. Le mois de janvier est considéré régionalement comme la petite saison sèche, mais pour éviter toute forme de biais

dû au nombre des données, nous avons préféré l'exclure des saisons précédentes pour l'exploiter comme une « saison » additionnelle représentant une phase de transition entre deux saisons de pluie. Pour la subdivision des analyses de chaque éléphant en périodes circadiennes, nous avons utilisé deux intervalles, que j'ai assigné comme étant, le jour pour la période allant de 6 h 00 du matin à 18 h 00 de l'après- midi; et la nuit la période allant de 18 h 00 à 6 h 00 du matin. Nous avons placé des points aléatoires dans chaque domaine vital, en nombre égal aux positions réelles obtenues par les colliers GPS pour chaque femelle et durant chaque période considérée.

Calcul des distances

Nous avons calculé les distances entre chaque point GPS localisé à l'intérieur d'un domaine vital et les frontières des polygones des habitats du complexe. A partir des domaines vitaux des six éléphants, les distances de chaque habitat ont été calculées à l'aide de la fonction « jointure spatiale » du logiciel ArcGIS (2003). Ces distances concernaient les intervalles entre les points GPS et les périphéries des polygones d'habitats. Au total, 26024 points ont été utilisés pour le calcul des distances aux habitats, avec 13012 points GPS, et 13012 points aléatoires. Les points aléatoires ont été générés par l'extension *Hawth's Tools* de ArcGIS. Le positionnement de l'éléphant à l'intérieur de son domaine vital était fixé à zéro. Ainsi donc, la distance calculée était représentée par l'intervalle entre le point zéro et la frontière de la végétation caractérisée dans le complexe.

Modélisation statistique

La fonction de sélection des ressources a été retenue comme un modèle statistique puissant pour permettre de déceler des préférences de fréquentation d'habitats chez les éléphants du parc national de Loango. Les fonctions de sélection des ressources servent à évaluer quantitativement la fréquentation des habitats par des animaux par rapport aux habitats disponibles dans une zone de référence (Manly, 2002). Elles constituent une application particulière de la

régression logistique, dans laquelle la variable dépendante est répartie en deux groupes: observations réelles vs observations simulées (aléatoires). Comme toute régression logistique, la fonction de sélection des ressources suppose l'indépendance des observations. Pour ce faire, des modèles statistiques *conditionnels* sont appliqués, dans lesquels on tient compte de l'agglomération des données en groupes, chacun constitué d'une observation et d'un nombre fixe d'observations aléatoires de référence (Manly, 2002). L'approche préconisée dans cette étude applique le modèle théorique de sélection d'habitats de type III (Thomas and Taylor, 1990), c'est-à-dire que l'utilisation et la disponibilité des habitats sont toutes les deux estimées séparément pour chaque individu.

Un intervalle de huit heures entre deux points consécutifs a été choisi pour minimiser l'autocorrélation spatio-temporelle des points. Un dispositif à mesures répétées a été retenu dans le cadre de cette étude où nous avons utilisé les informations en provenance de six sujets, soit les éléphants porteurs de colliers. Conformément à Conner et al. (2003), notre variable dépendante était la différence entre les distances réelles (GPS) et les distances des points aléatoires appariés, par rapport à chaque type d'habitat. Étant donné la nature différentielle de la variable dépendante, nous avons utilisé l'estimation de l'ordonnée à l'origine (« *intercept* ») comme mesure d'association globale à un type d'habitat. La procédure *MIXED* de l'application SAS 9.1 (Littell *et al.*, 1996) a été utilisée pour aider à comparer les distances proximité des éléphants avec les types d'habitats précédemment définis. Plus précisément, nous avons évalué les effets fixes suivants :

$$\text{Distance réelle moins aléatoire} = f : (\text{saison}) (\text{période circadienne}) (\text{saison} * \text{p.c.})$$

Les degrés de liberté résiduels (non utilisés par le modèle) ont été départagés en portions « intra-individu » et « inter-individus » ; le nombre de degrés de liberté résiduel varie selon la présence, ou non, d'une variation inter-individuelle de l'effet fixe estimé (Littell *et al.*, 1996).

Résultats

De manière générale, les éléphants fréquentaient l'ensemble des écosystèmes du parc national de Loango, sauf les cultures, pour lesquelles nous n'avons obtenu aucune position GPS (Tableau 2). Cependant, la fréquentation des habitats ou leur proximité variait fortement d'une saison à l'autre et d'un éléphant à l'autre, ce qui sera considéré dans les sous-sections suivantes.

Tableau 2. Fréquence et pourcentage des positions GPS et aléatoires dans les habitats de savane, de forêt et de zone humide.

Écosystème	GPS	Aléatoires
TERRES FORESTIÈRES DE SOL FERME (« forêts »)	144 (4.8%)	66 (2.5%)
TERRES FORESTIÈRES DE SOL HYDROMORPHE (« zones humides »)	1358 (45.6%)	822 (31.0%)
SAVANES ET GALERIES FORESTIÈRES (« savanes »)	1476 (49.6%)	1761 (66.5%)
TOTAL	2978	2649

Emplacement et variation saisonnière des domaines vitaux

Les domaines vitaux des six groupes étudiés couvraient une gamme très variable d'habitats (Figure 7, Figure 8). La taille des domaines vitaux variait significativement entre les éléphants (ANOVA à 2 facteurs, sans répétition; $df = 5, 15; F = 6.0, P = 0.005$) mais rien n'indique que les domaines vitaux étaient plus grands pour l'ensemble des éléphants à une saison qu'à une autre ($df = 3, 15; F = 1.2, P = 0.3$).

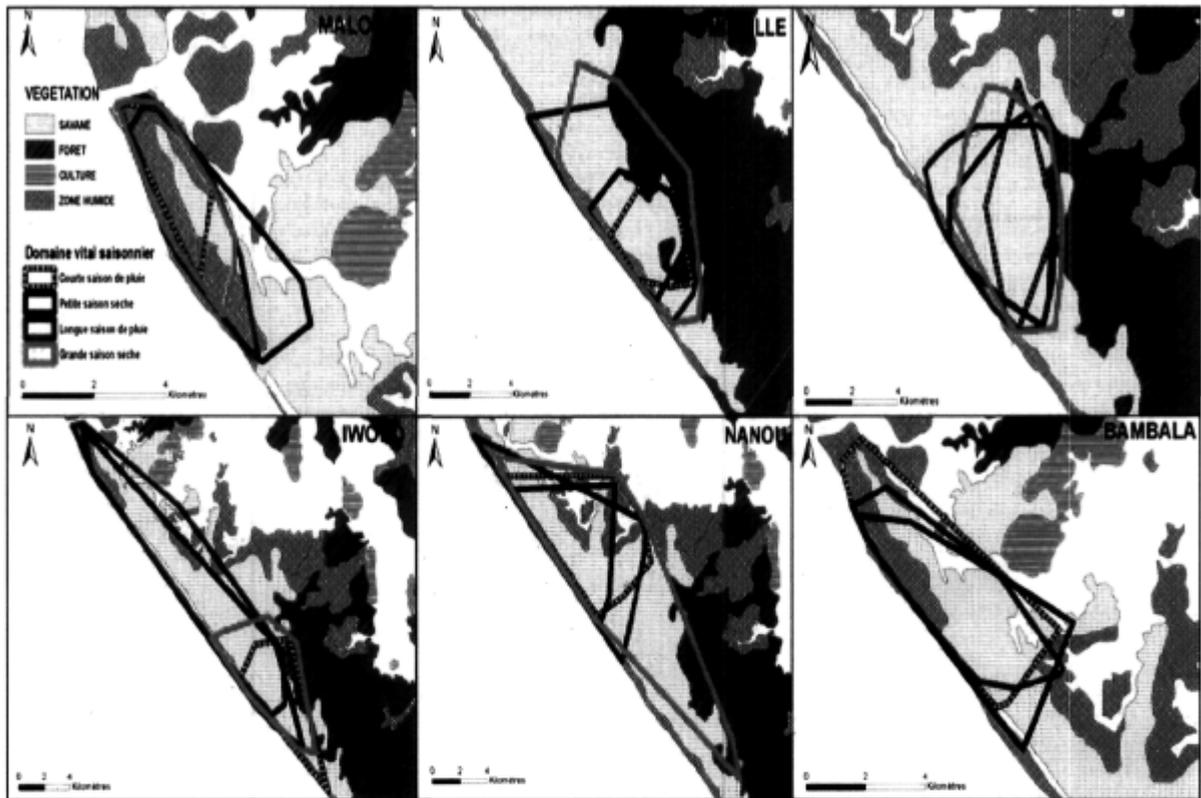


Figure 7. Localisation des domaines vitaux saisonniers par rapport à quatre catégories de végétation. Chaque panneau représente un individu différent. Notez le changement d'échelle entre les panneaux.

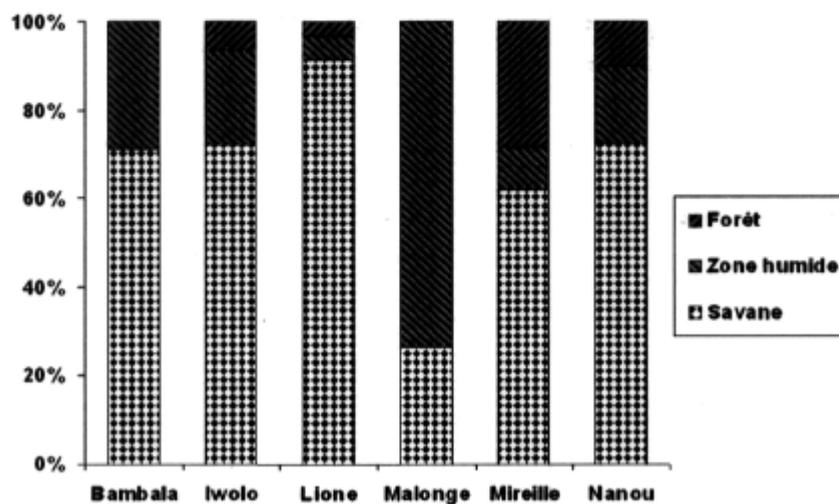


Figure 8. Variation de la composition des domaines vitaux des six éléphants étudiés.

Au regard de toutes les superficies des domaines vitaux, celles d'Iwolo et Nanou étaient les plus importantes. Malgré l'absence d'une tendance générale, nous pouvons constater (Figure 9) que la taille des domaines vitaux des six éléphants a beaucoup varié entre saisons (c.v. > 50 %), pour Nanou et Mireille, dont les domaines vitaux étaient de taille maximale en saison sèche.

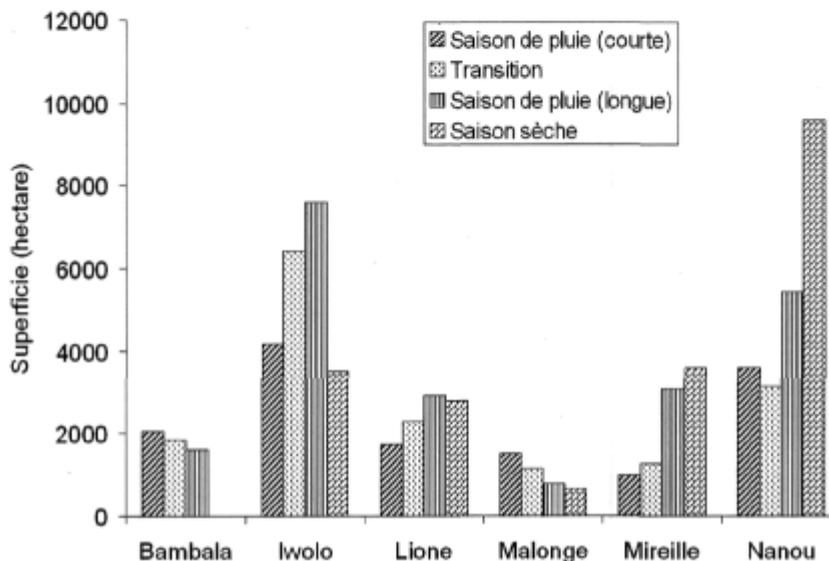


Figure 9. Taille des domaines vitaux par individu et par saison.

Fréquentation des grandes catégories d'habitats du complexe

La première constatation concernant la fréquentation des habitats est que les groupes d'éléphants étudiés fréquentaient les savanes près de la moitié du temps, le reste du temps étant passé majoritairement dans les milieux humides. Ainsi, les forêts étaient rarement fréquentées, et les cultures jamais visités durant la période pour laquelle nous avons des données GPS.

Évidemment, la simple fréquentation des habitats est fonction de deux facteurs confondus, la disponibilité et la réelle préférence. Afin d'évaluer cette dernière, la différence de distance entre les points GPS et les points aléatoires a été calculée pour les différentes catégories d'habitats (Tableau 3). Parmi les

quatre grandes catégories d'habitats, la savane était celle la plus accessible aux éléphants, se retrouvant en moyenne à moins de 120 mètres de tout point de l'aire d'étude. Cependant, après avoir tenu compte de la grande accessibilité des savanes, ces dernières ne semblaient pas préférées par les éléphants (Figure 10).

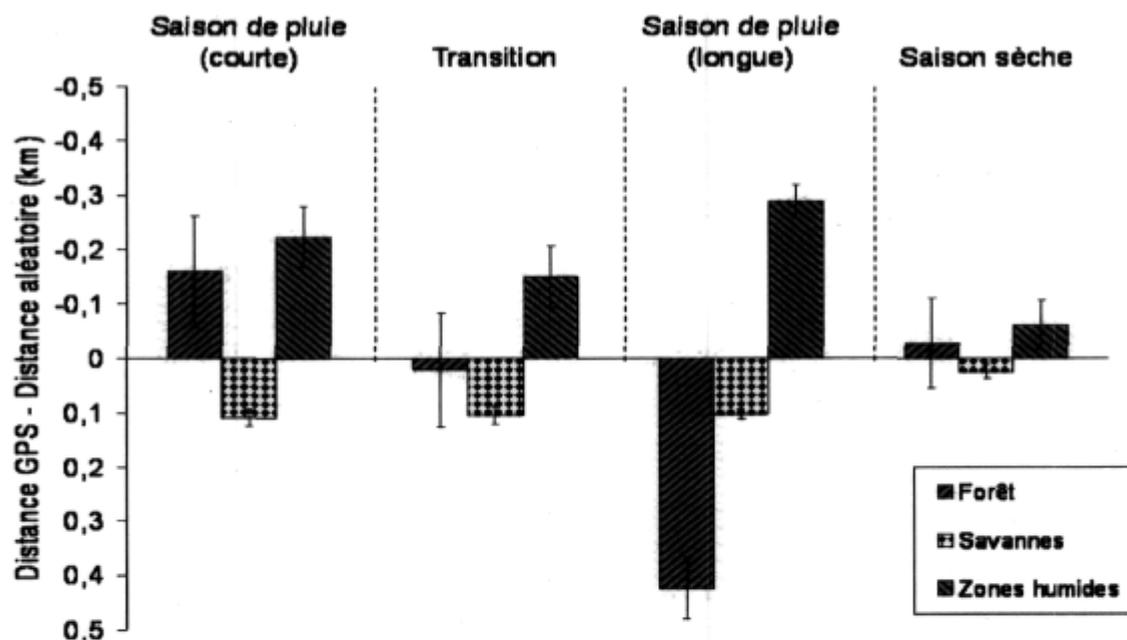


Figure 10. Distance des éléphants par rapport aux habitats de forêt, de savane et de zone humide, en fonction des saisons. Une ligne de référence, zéro a été établie sur l'axe des ordonnées. Les valeurs négatives (en haut) sont indicatrices de préférence alors que les valeurs positives sont indicatrices d'indifférence ou d'évitement des éléphants à un habitat.

L'habitat le plus éloigné des éléphants était celui de culture (Tableau 3) avec une distance moyenne de 6.25 km. Nous avons exclu cet habitat en raison de sa grande distance et du fait qu'aucune des localisations GPS ne s'est retrouvée dans cet habitat (Tableau 3). Parmi l'ensemble des milieux considérés, les forêts marécageuses inondées en permanence, les dénudés secs (végétation côtière de basse altitude) et les forêts secondaires jeunes en régénération étaient de manière générale préférées (Tableau 3).

Tableau 3. Proximité des habitats du site étudié dans le complexe de Gamba, Gabon.

Acronyme	Description	Distance des points GPS (m)	Distance des points aléatoires (m)	Préférence *	Nombre de points
TERRES FORESTIÈRES DE SOL FERME (« forêts »)					
SA	Forêt secondaire adulte	963	761	o	1018
SAOK	Forêt secondaire adulte à Okoumé	3792	3744	o	2758
SJ	Forêt secondaire jeune et en régénération	5431	5819	+	6
SJOK	Forêt secondaire jeune et en régénération à Okoumé	3065	2838	o	2724
TERRES FORESTIÈRES DE SOL HYDROMORPHE (« Zones humides »)					
DS	Dénudé sec	896	1168	++	3119
MP	Forêt marécageuse inondée en permanence	295	425	+++	2369
MT	Forêt marécageuse inondée temporairement	987	882	o	1018
TERRES MIXTES DE CULTURE (« cultures »)					
SC	Forêt secondaire avec complexe cultural	6705	6272	o	6506
SAVANES ET GALERIES FORESTIÈRES (« savanes »)					
SG	Complexe savane-galeries forestières	199	119	o	6473

* Distance aléatoire/distance éléphants o : 0-1 + : 1-1.1 ++ : 1.1-1.3 +++ : >1.3

De façon globale, les éléphants n'avaient pas une préférence ou un évitement constant pour un habitat donné (Tableau 4, effets globaux). Même si les éléphants ne restaient pas en permanence dans une seule catégorie d'habitat, ces derniers s'attachaient fortement à certains milieux spécifiques à des périodes précises de l'année. La valeur nutritive des petits habitats comme les forêts

secondaires jeunes, a été plus appréciée par les éléphants. Bien que les marécages permanents soient des milieux difficilement accessibles aux humains, les éléphants de Gamba avaient tendance à préférer de tels habitats si l'on en juge par la proximité de ces derniers.

Tableau 4. Synthèse des localisations des éléphants par rapport à trois types d'habitats de forêt de savane et de zone humide. Les effets fixes d'un modèle linéaire mixte avec mesures répétées (sujets = 6 éléphants) sont présentés.

Effet	DL numérateur	DL dénominateur	t ou F*	P
Forêt				
Global	1	5	-0.75	0.49
Saison	3	14	13.06	0.0002
Jour	1	5	6.95	0.05
saison*Jour	3	14	0.27	0.84
Savane				
Global	1	5	2.36	0.065
Saison	3	14	9.55	0.0011
Jour	1	5	97.30	0.0002
saison*Jour	3	14	0.41	0.75
Zone humide				
Global	1	5	-1.55	0.15
Saison	3	14	6.43	0.006
Jour	1	5	0.88	0.39
saison*Jour	3	14	2.35	0.12

t a été utilisé pour les effets globaux (estimations des paramètres pour l'ordonnée à l'origine; données paires GPS vs. aléatoire).

Fréquentation individuelle des habitats par les éléphants de forêt

Même après avoir tenu compte de la diversité des domaines vitaux, exprimée par la distance des points aléatoires aux habitats, il demeure que la préférence des habitats variait fortement d'un groupe d'éléphants à l'autre à l'intérieur des saisons **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** L'absence et l'abondance de la nourriture à certaines périodes de l'année dans certains habitats du complexe pourraient justifier l'ampleur des variations. La forte variabilité des

patrons individuels d'occurrence suggère que les éléphants étaient constamment en mouvement à la recherche de la nourriture de meilleure qualité.

Fréquentation circadienne des habitats par les éléphants de forêt

Bien qu'actifs le jour comme la nuit, les éléphants ne fréquentaient pas les habitats entre ces deux périodes circadiennes (Figure 11; Tableau 4). La nuit, ceux-ci avaient tendance à éviter les forêts et les savanes, se retrouvant ainsi plutôt dans les milieux humides (Figure 11).

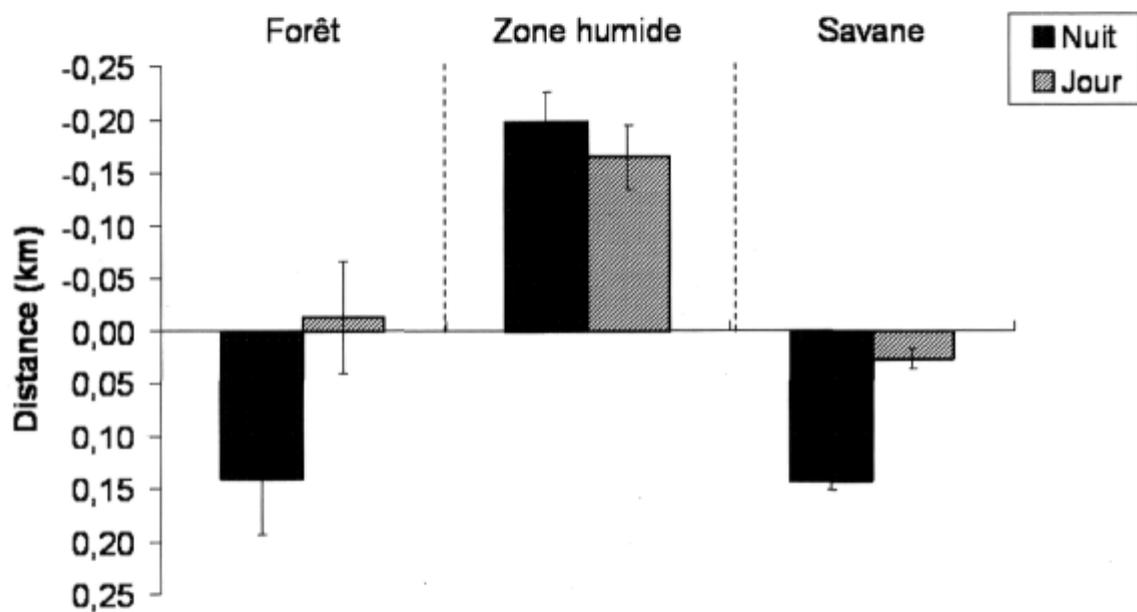


Figure 11. Localisation circadienne des éléphants par rapport aux habitats de forêt de savane et de zone humide, en fonction du jour et de la nuit. Une ligne de référence zéro a été établie sur l'axe des ordonnées. Cette ligne indique l'absence de préférence pour l'habitat considéré. Les valeurs négatives (en haut de la ligne de référence) indiquent une préférence pour l'habitat considéré.

Fréquentation saisonnière des forêts

De manière générale, la distance des éléphants à la forêt ne différait pas des distances aléatoires appariées (ordonnée à l'origine dans le Tableau 4). Par

contre, la proximité moyenne de la forêt variait fortement entre les saisons Tableau 4; les éléphants s'en rapprochant en saison sèche (Figure 10). Les six éléphants femelles, représentant chacune un groupe de 2 à 3 éléphants, réagissaient néanmoins de manière très variable à la proximité de la forêt (Figure 12). Cette variation inter-individuelle était attribuable plutôt à l'emplacement des domaines vitaux qu'aux préférences à l'intérieur des domaines vitaux, si l'on se base sur la variabilité des distances aléatoires entre les individus (Figure 12). On constate par exemple que Nanou se tenait relativement loin des forêts au cours des saisons.

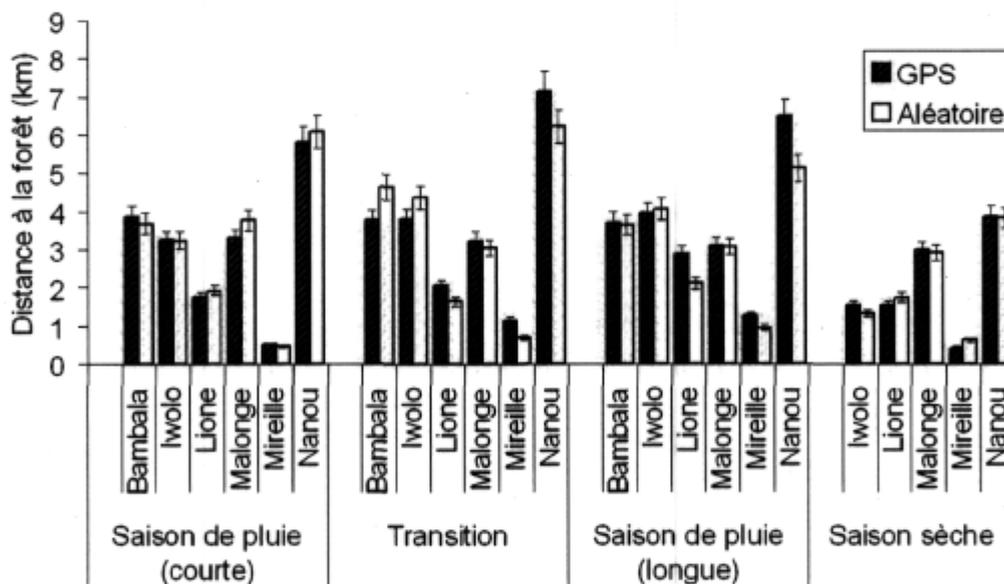


Figure 12. Localisation individuelle des éléphants (GPS) et des points aléatoires face à la forêt.

La tendance à s'éloigner de la forêt la nuit était constante d'une saison à l'autre (interaction statistique nulle dans le Tableau 4).

Fréquentation saisonnière des savanes

Comparativement à l'habitat de forêt, la savane était généralement très disponible, c'est-à-dire à proximité des éléphants. En conséquence, les éléphants passaient près de la moitié du temps dans ce milieu. Mais en général, les savanes n'étaient pas davantage utilisées que laissaient prévoir leur disponibilité. Encore

une fois, l'analyse individuelle des éléphants par rapport à l'habitat de savane indique de fortes variations entre individus de plus d'un ordre de grandeur, au cours des quatre saisons (Figure 13). Lione était fortement associée aux savanes, tandis que Malonge se retrouvait très loin de cet habitat. Comme dans le cas des forêts, cette variabilité inter-individuelle serait attribuable surtout à la nature variable des domaines vitaux (positions aléatoires dans la Figure 13) et non pas à des différences de préférence à l'intérieur des domaines vitaux des groupes d'éléphants.

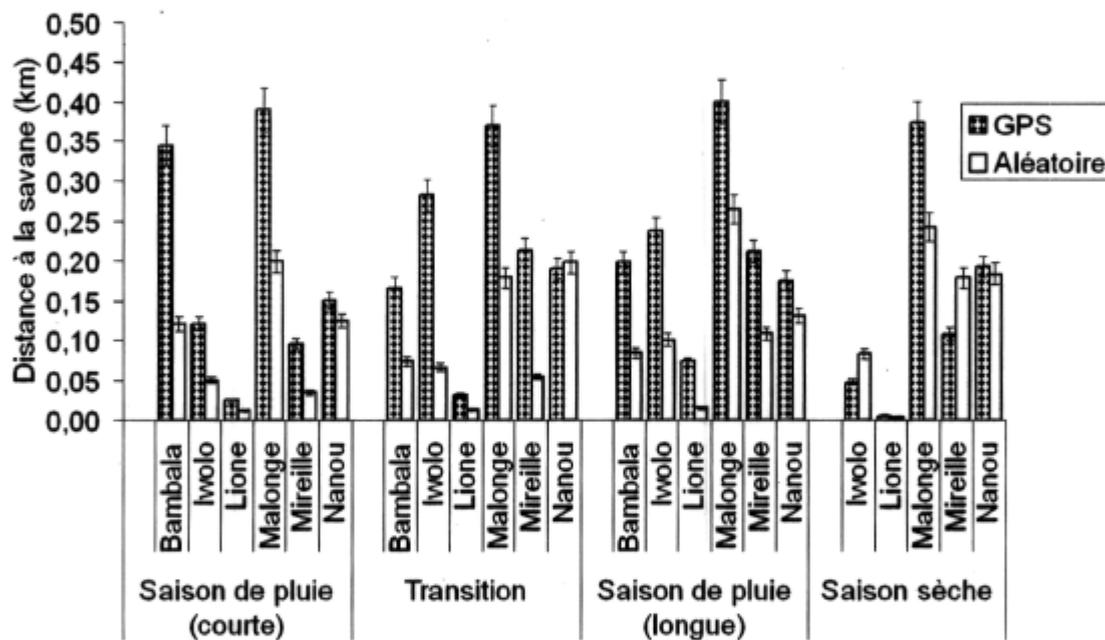


Figure 13. Localisation individuelle des éléphants face à l'habitat de savane.

Aucune interaction significative entre les saisons et les jours n'avait été observée au cours cette analyse ($P = 0.75$). Ainsi donc de façon globale, les éléphants étaient assez proches de la savane.

Fréquentation saisonnière des zones humides

En appliquant la procédure mixte de SAS pour le calcul des distances des éléphants avec les milieux humides, nous avons constaté que ceux-ci se

retrouvaient généralement plus près des milieux humides que les distances attendues basées sur les points aléatoires, particulièrement en saison humide (Figure 10; Tableau 4). Un examen visuel des distances par rapport à l'habitat de zone humide révèle encore une fois de fortes variations, entre individus, au cours des saisons (Figure 14). La plus petite distance aux zones humides était celle de Malonge, à moins d'un kilomètre, alors que la plus grande était celle de Lione à environ deux kilomètres. Ces variations étaient le résultat d'une disponibilité très variable des milieux humides d'un domaine vital à l'autre (Figure 14). Contrairement aux forêts et aux savanes, la préférence pour les milieux humides ne variait pas entre le jour et la nuit, et ce, en toute saison (Tableau 4; absence d'interaction entre les effets de « saison » et de « jour »).

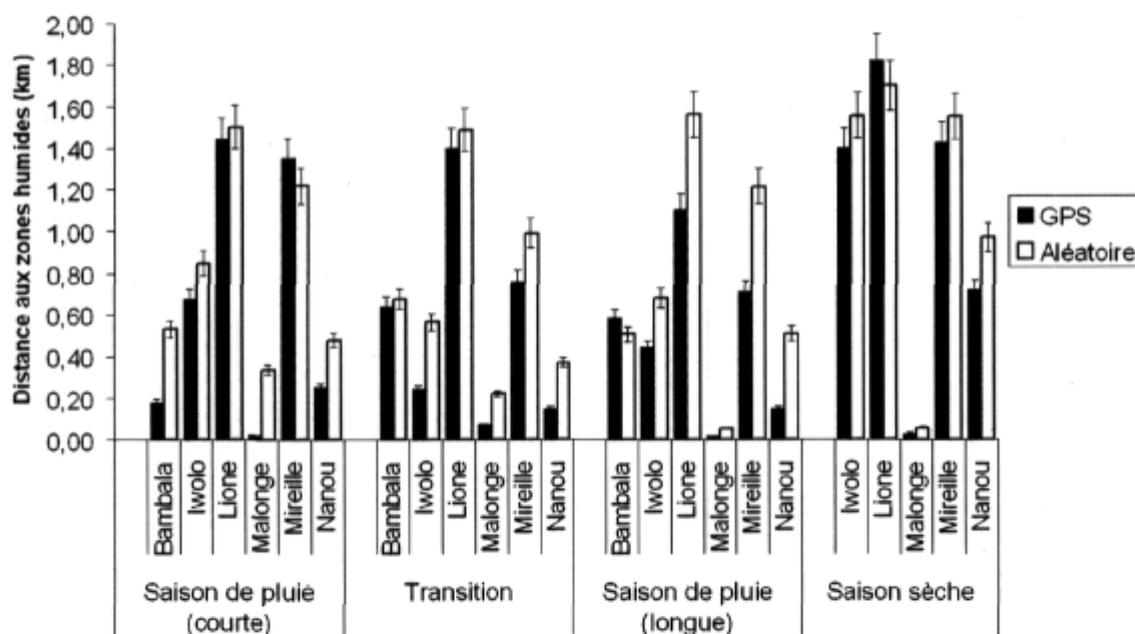


Figure 14. Localisation individuelle des éléphants face aux zones humides.

Discussion

Les résultats de cette étude seront discutés en comparaison avec trois autres études de télémétrie réalisées dans la sous-région d'Afrique centrale. Chacune de ces études rapportait des tailles de domaines vitaux nettement supérieures à celles rapportées dans la présente étude, même en considérant que nos mesures étaient saisonnières et non annuelles. La première étude réalisée au Cameroun a démontré que les éléphants du Cameroun auraient tendance à occuper des petits domaines vitaux (Powell, 1997), au vu de la taille de leurs domaines vitaux annuels variant entre 203 et 598 km². Une deuxième étude télémétrique dans la forêt de Ndoki au Congo (Blake et al., 2001) a indiqué que les éléphants du Congo occupent des grands domaines vitaux annuels variant entre 677 et 1977 km². Une troisième étude télémétrique sur l'éléphant de forêt a été réalisée dans le parc national de la Lopé, doté d'un effectif total de près de 3500 éléphants au centre du Gabon (Momont, 2007). Les conclusions de cette dernière ont indiqué que l'éléphant de forêt occupe des petits domaines vitaux annuels, variant entre 6 et 560 km². Cette dernière étude indique que les éléphants de forêt préfèrent sélectionner les habitats de forêt à marantacée et de marais en savane, contrairement à l'habitat de forêt mature.

La présente étude réalisée dans le parc national de Loango, qui dispose d'un effectif total de 2000 éléphants, confirme l'idée que la fréquentation des habitats par les éléphants de forêt est principalement fonction des saisons et des individus. Mais nos résultats contredisent plusieurs de nos hypothèses initiales. En effet, de manière générale, les éléphants fréquentaient davantage les forêts et savanes en saison sèche, durant laquelle leurs domaines vitaux étaient généralement plus grands. De plus, les milieux humides constitués de marécages permanents, de marécages temporaires et des dénudés secs étaient apparemment favorisés en saison de pluie et de transition. La période circadienne avait une influence modérée, amenant les éléphants près des milieux humides et loin des savanes et forêts, la nuit, et ce, en toutes saisons.

Pendant la saison sèche lors des survols aériens, on observe facilement en moins d'une vingtaine de minutes près de 200 à 500 éléphants qui fréquentent les savanes d'Akaka, au sud de la lagune d'Iguéla, et la plage. Le mérite de cette étude est de démontrer que les éléphants qui fréquentent les zones humides ne sont pas forcément les mêmes que ceux qui fréquentent la plage. Les éléphants du parc national de Loango occupent de petits domaines vitaux certainement du fait de l'abondance de la nourriture et d'arbres fruitiers dans ce site. La configuration spatiale des savanes et des galeries forestières discontinues pourrait aussi expliquer la présence des petits domaines vitaux utilisés par les éléphants de forêt dans le parc national de Loango. Ces éléphants semblent bien équipés à exploiter les zones de nourriture plus restreintes comparativement à ceux de Ndoki au Congo qui parcourent plus de 25 à 58 km en 2 jours (Blake et al., 2001). Leur capacité à suivre des changements de distribution de la nourriture varie à une petite échelle. Les éléphants du parc national de Loango ont plus de similitudes avec ceux du Cameroun, car Powell (1997) avait également trouvé des petits domaines vitaux, moins élargis, lors de son étude sur les éléphants du Cameroun contrairement à ceux du Congo. Il est possible que les différences observées entre sites soient dues aux méthodes de travail, la taille de l'échantillonnage et les conditions environnementales, car les domaines vitaux sont des estimateurs grossiers des habitats (Harris et al., 1990).

L'importance de la variation individuelle

Une des principales constatations de cette étude est la forte variabilité inter-individuelle dans la fréquentation des habitats. Le phénomène de spécialisation individuelle est bien documenté dans la littérature et est destiné à prendre de l'ampleur à mesure que des mesures détaillées de la sélection des habitats *au niveau des individus* s'accumuleront.

Comme nous l'avons pu le constater, de manière générale, les éléphants se tenaient près des zones humides, et parfois de la forêt, à l'intérieur de leurs domaines vitaux. Cependant cette préférence n'était pas stricte et trouvait sa limite

à une fine échelle, celle des domaines vitaux, où des fortes variabilités individuelles ont été remarquables. Cette forte polyvalence dans le choix des domaines vitaux pourrait s'expliquer par une spécialisation individuelle (préférences contrastées). Ainsi, les individus spécialistes utiliseraient partiellement les habitats du complexe, en s'intéressant seulement aux zones riches. Il est connu que la qualité d'un habitat peut déterminer en partie la survie des individus (Pettorelli, 2002). La composition des groupes d'éléphant et la situation géographique de certains habitats expliqueraient la cause de cette variation individuelle dans le complexe. Il est connu que la variation individuelle est un moyen par lequel les animaux parviennent à minimiser les risques de compétition (Dhondt, 1977).

Une autre explication possible de la variation de la composition des domaines vitaux est la présence d'interactions sociales entre les individus ou les groupes. Par exemple, l'accès exclusif à certains groupes en raison d'une dominance sociale pourrait contraindre les autres groupes à utiliser des sites de qualité moindre. La dominance entre groupes d'éléphant est surtout basée sur l'âge et la taille (Cohn, 2007), il n'y a point de népotisme. Les éléphants femelles les moins âgées doivent attendre la mort des plus âgées pour pouvoir bénéficier de tous les avantages d'un groupe.

L'utilisation des domaines vitaux

La taille saisonnière des domaines vitaux des éléphants de Gamba variait seulement entre 11 et 100 km², alors que Leuthold (Leuthold, 1977) avait constaté que la taille d'un domaine vital de l'éléphant de savane ou de forêt pouvait varier entre 15 à 3700 km², ce constat suggère que les éléphants de Gamba face à la présence humaine auraient tendance à préférer les petits domaines vitaux. Ou encore, ils seraient possiblement *contraints* d'utiliser de petits domaines vitaux pour minimiser les risques de conflits avec les humains. La présence de la nourriture dans les complexes savanes et galeries forestières très productifs, le sel de mer et les marécages seraient aussi potentiellement à l'origine d'une utilisation

restreinte des domaines vitaux par les éléphants de Loango. Les travaux de Momont (2007) dans le parc national de la Lopé au Gabon, ont révélé que les éléphants de la Lopé préfèrent occuper des petits domaines vitaux en sélectionnant surtout les habitats des marais en savane et de forêt à marantacée. Cependant d'après les résultats de S. Blake (2001) sur les éléphants de Ndoki au Congo nous savons que les éléphants de forêt peuvent se déplacer sur des grands paysages pour aller exploiter des zones de nourriture dispersées en forêt.

En corollaire, les éléphants de Gamba se déplacent sur de petites distances, ce malgré le fait qu'il soit commun pour un éléphant d'Afrique de voyager jusqu'à plus de 75 km en espace de quelques jours (Leuthold and Salé, 1973). Une plus grande taille des domaines vitaux des éléphants de Gamba a été observée chez deux individus, Iwolo et Nanou, en saison sèche, contrairement à notre prédiction. On s'attendait à ce que les domaines vitaux de tous les éléphants soient beaucoup plus grands, pendant la saison de pluie comme l'avaient constaté Leuthold et Salé (1973), et donc que les éléphants migrent sur de larges étendues pendant la saison de pluie. L'augmentation de la taille des domaines vitaux en saison sèche peut s'expliquer par le fait que, quand la quantité de nourriture tend à diminuer dans le complexe, les éléphants doivent augmenter leur champ de recherche dans plusieurs petits milieux, peu visités auparavant, en saison de pluie, pour augmenter leur chance de succès. Les déplacements élargis de Nanou et Iwolo étaient possiblement motivés par une plus grande carence de la nourriture de bonne qualité dans leurs domaines vitaux respectifs. La présence des domaines vitaux élargis à certaines périodes de l'année serait sans doute due à l'effet très significatif des saisons qui influent sur la qualité des habitats de manière très variable d'un domaine vital à l'autre. Il est connu que la taille d'un domaine vital dépend souvent de sa capacité de production (Dussault et al., 2005). Des domaines vitaux de très faibles superficies ont été également observés dans le complexe, ce qui pourrait refléter la répartition occasionnellement concentrée de la nourriture ou d'autres ressources telles que l'abri. Ainsi, l'éléphant de forêt ne semble pas toujours avoir besoin des grands domaines, surtout quand les petits sont déjà suffisamment riches. D'autres facteurs qui ont pu influencer la variation

saisonnaire des domaines vitaux seraient probablement assujettis à la taille des groupes d'éléphants et à l'âge des individus. La présence des jeunes dans certains groupes a peut-être pu contraindre les mères adultes à accéder préférentiellement vers les habitats disposant des ressources hautement digestibles et énergétiquement riches.

La fréquentation saisonnière des habitats dans les domaines vitaux

Quatre saisons ont été considérées dans cette analyse, deux saisons de pluie et deux saisons sèches. Les variations saisonnières influencent généralement la qualité d'un habitat. En dépit de la grande accessibilité de l'habitat de savane, les habitats de zones humides et de forêt étaient préférés des éléphants de forêt. Pourtant l'étude de Poole (Hall-Martin, 1987, Moss and Poole, 1983), sur l'éléphant d'Afrique avait démontré que, dans les habitats de savane et en temps de pluie, l'herbe pouvait représenter jusqu'à 70 % de son régime alimentaire. Les éléphants du parc national de Loango semblent mal porter leur nom, puisque les forêts, *sensu strictu*, étaient au dernier rang des trois grands écosystèmes fréquentés par les éléphants de cet endroit. Même si la réception des satellites par les colliers GPS est beaucoup plus aisée en milieux ouverts comme les savanes et les zones humides, il n'en demeure pas moins que l'habitat de forêt du parc national de Loango facilite la réception des satellites du fait de sa végétation relativement basse et de son sous-bois ouvert. De plus, si les éléphants avaient fréquenté les forêts plus régulièrement, nous aurions présumément décelé un grand nombre d'observations dans les milieux ouverts à proximité de ces dernières, ce qui ne fut pas le cas selon l'analyse des distances.

La présence assidue des éléphants dans les milieux humides, suggère que ces derniers trouvent une partie importante de leur nourriture dans ce type d'environnement. Quand les éléphants rencontrent un milieu naturel riche en nourriture de bonne qualité, il arrive que ces derniers s'établissent au voisinage de cet habitat pendant une certaine période de l'année (Hall-Martin, 1987, Moss and Poole, 1983). Quand les éléphants rencontrent un habitat riche de haute qualité

nutritionnelle, ils semblent que ces derniers économisent leurs déplacements, se traduisant ainsi par les petites distances de localisation. Par exemple, pendant la courte saison de pluie, période à laquelle la nourriture abonde dans la forêt, les distances des localisations des éléphants face aux zones humides et à la forêt ont été plus petites. La préférence des éléphants pour les milieux humides peut avoir plusieurs autres mobiles, notamment comme un lieu de refuge sûr contre les humains et les chasseurs locaux. Aussi l'éléphant peut consommer jusqu'à près de 180 litres d'eau par jour, pour cela, sa présence dans les milieux aquatiques est bénéfique et sa survie dépend sans doute de la disponibilité régulière de ces milieux. L'éléphant ne peut s'éloigner des zones humides que quand il risque gros pour sa survie, avec par exemple le braconnage commercial. Les éléphants pourraient préférer les zones humides à cause des besoins physiologiques comme l'entretien de la peau. Cette peau formée des gros plis, encaisse beaucoup d'insectes nuisibles dont l'éléphant a besoin de s'en débarrasser souvent. Il devrait donc assez souvent se vautrer dans les boues des marécages et des « dénudés secs » à certaines périodes chaudes de la journée.

Malgré la préférence illustrée des éléphants de Gamba aux milieux humides, ils passent néanmoins près de 50 % de leur temps dans les savanes. Les fréquentations des éléphants caractérisées par les petites distances de localisation à la savane et des grands pourcentages des points GPS et aléatoires sous-tendent l'existence des relations uniques d'utilisation de savane. Par exemple à certaines périodes de l'année les éléphants auraient besoin de compléter leur régime alimentaire par l'herbe fraîche des savanes. Il est aussi possible que les éléphants accèdent aux milieux de savane simplement pour bénéficier d'une bonne aération lors de leurs déplacements. Finalement, les savanes avoisinent souvent les milieux humides et pourraient ainsi être fréquentées simplement lors de déplacements reliés aux milieux humides.

Les éléphants se tenaient indifféremment dans la savane, la forêt et les zones humides pendant la saison sèche, quand la fructification baissait dans le complexe. Il semble donc que lors d'une diminution de la nourriture dans le

complexe, les éléphants auraient tendance à sélectionner le maximum d'habitats disponibles. C'est en saison sèche d'ailleurs que les éléphants devenaient plus actifs dans l'ensemble des habitats, comme le montre la taille des domaines vitaux plus élargies. Les savanes dans lesquelles les éléphants accèdent facilement sont localisées non loin des plages de l'océan atlantique. Il se peut donc que l'eau salée joue un rôle essentiel dans l'entretien de l'épiderme de l'éléphant, contre les parasites comme les tiques.

Même si les zones humides étaient les habitats préférés des éléphants pendant les saisons de pluie, il n'en demeure pas moins que c'est aussi pendant cette même période, durant la saison de pluie longue que la fructification devient optimale en forêt tropicale humide (White, 1994b). La fructification en saison de pluie serait possiblement la cause de la préférence des éléphants pour l'habitat de forêt en cette période, dans le complexe de Gamba (Western, 1975, Western and Lindsay, 1984). Les déplacements des éléphants sont rarement fortuits car ils utilisent apparemment les caractéristiques environnementales pour prédire les habitats les plus riches en fruits (Dale et al., 1992). Il est ainsi possible que les éléphants soient capables d'utiliser l'augmentation des pluies et de la chaleur comme indicateur de l'abondance de fruits dans la forêt. Les éléphants disposent d'une excellente mémoire spatiale (Walsh *et al.*, 2000). Ils utilisent possiblement la combinaison de leur connaissance empirique et de leur mémoire spatiale pour sélectionner les habitats de meilleure qualité. Il est aussi probable que ces derniers développent une cartographie cognitive leur permettant de retrouver de la nourriture de bonne qualité en des endroits spécifiques du complexe.

Contrairement à nos prédictions, pendant la saison sèche les éléphants se localisaient davantage à proximité des savanes. Ce résultat très surprenants confirme l'idée selon laquelle les savanes du parc national de Loango sont une source importante de nourriture (Morgan and Lee, 2007), ce malgré l'effet des saisons. Pendant les travaux d'inventaire biologiques les fruits frais de *Sacoglottis gabonensis* (White, 1994b) ont souvent été observés dans les crottins d'éléphants pendant la saison sèche. La saison sèche étant généralement une période de

stress pour la végétation, on s'attendait à ce que les éléphants se rabattent dans les grands marécages, pour se ravitailler en nourriture, pendant la saison sèche, ce malgré tout n'a pas été le cas. Les éléphants sont restés localisés dans les savanes et la forêt pendant la saison sèche témoignant ainsi de la présence de la nourriture dans ces lieux. Pendant les travaux préliminaires au moyen des transects, on a pensé que les éléphants se rassemblaient toujours au voisinage des grands cours d'eau (DeCesare et al., 2005) pendant la saison sèche. Force est de constater qu'il n'en est toujours pas ainsi. L'accès des éléphants dans les zones humides n'étant pas significatif, on peut supposer que les éléphants préfèrent les milieux humides beaucoup plus pour les raisons de sécurité, que pour l'alimentation.

Limites de l'étude

Plusieurs facteurs indiquent qu'il faut interpréter prudemment la proximité des éléphants aux différents types d'habitats. Premièrement, il existe une incertitude importante due à l'échantillonnage limité (six groupes seulement d'éléphants sur une population estimée entre 1500 et 2000 éléphants dans le parc national de Loango. Les contraintes financières ont obligé à restreindre la taille d'échantillon à six groupes dans une zone supposée la plus riche du complexe. Les contraintes liées à la réception des satellites, sous la canopée (DeCesare et al., 2005) auraient pu occasionner des biais de localisations dans le parc, particulièrement une sous-estimation de la fréquentation des milieux fermés (forêt). Par ailleurs, un écart de huit heures entre les points consécutifs rend difficile de savoir si à l'intérieur de cet intervalle l'éléphant a dû transiter par un autre habitat. Les fréquentations des éléphants dans l'habitat de savane peuvent être liées simplement à la présence de leurs pistes permanentes dans les lisières, surtout que les éléphants aiment emprunter les mêmes pistes au cours de leurs déplacements.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les fréquentations saisonnières des éléphants dans le complexe de Gamba sont gouvernées par la répartition spatiale et la qualité d'habitats. En général, les fréquentations des éléphants dans les habitats des zones humides et de forêt sont prépondérantes en saison de pluie, liées sans doute à la période de fructification dans le complexe.

On s'attendait à ce que les éléphants soient plus proches des zones humides que de la savane pendant la saison sèche. Cependant, on constate que les éléphants de Gamba, même pendant la saison sèche, continuent à se localiser plus proche de savane, que des zones humides. Néanmoins il faut noter que cette distance à la savane est bien différente de celle de deux saisons de pluie où les éléphants sont encore plus loin de savane. La fréquentation des éléphants autour de savane durant la saison sèche serait probablement due à la présence des savanes arbustives et des galeries forestières pouvant continuer à disposer de la nourriture résistante au stress, par exemple les fruits de *Sacoglottis gabonensis* sont toujours visibles au sol même pendant la saison sèche.

Les éléphants de Gamba en général semblent très peu motivés à effectuer des grandes distances. En dehors d'Iwolo et Nanou, qui ont effectué des longs déplacements à la recherche de la nourriture, les quatre autres éléphants sont souvent restés très peu mobiles au même endroit. Pendant la saison sèche les éléphants passent la majorité de leur temps dans les galeries forestières, où ils trouvent probablement de quoi satisfaire leurs besoins. Leur accès privilégié aux savanes arbustives et galeries forestières, dénote d'un intérêt particulier à la végétation dominante de *Sacoglottis gabonensis* qui fructifie en toute saison dans les lisières de savanes. Les éléphants de Gamba, ont indiqué des similitudes avec les éléphants de savane, en fréquentant davantage les habitats minoritaires de savane en saison sèche, face aux habitats de forêt, pourtant les plus représentatifs dans le complexe.

Le jour comme la nuit, les éléphants de Gamba fréquentaient disproportionnellement les savanes et les zones humides. Toutefois leurs fréquentations sont plus intenses la nuit quand il fait plus frais que le jour où il fait chaud, dans les savanes. De façon globale, les éléphants de Gamba n'ont pas indiqué des fréquentations significatives dans les habitats des zones humides comme prédite, que pendant la saison sèche les éléphants désertent les savanes pauvres en herbes fraîches et se concentrent autour des grands marécages où la végétation de haute qualité nutritionnelle repousse. Les éléphants ont plutôt été affiliés aux zones humides pendant toutes les saisons de pluie; alors que leur prédominance des localisations aux alentours des savanes a été sans équivoque en saison sèche.

Implications pour la conservation

Cette étude met en évidence l'utilité des zones humides et des savanes pour la conservation de l'éléphant de forêt. Elle a démontré que les éléphants de Gamba préfèrent davantage les zones humides pendant la saison de pluie contrairement aux conclusions des études précédentes basées uniquement sur les transects, où l'on pensait que les zones humides étaient de préférence visitées par les éléphants durant la saison sèche. De même, cette étude a indiqué l'accès continu des éléphants autour des savanes durant la saison sèche alors qu'on les croyait localisés davantage dans les grands marécages à cette période. Suite à ce qui précède, cette étude propose l'implication des petits habitats, comme les savanes et des zones humides dans les plans directeurs de conservation de l'éléphant. Ces milieux étant favorables au maintien des populations des éléphants de forêt, je recommande aux gestionnaires du parc national de Loango d'assurer l'aménagement des savanes en les brûlant à des périodes fixes de l'année comme cela se passe dans le parc national de Lopé. En brûlant les savanes ils pourront faciliter leur régénération et éviter qu'elles ne soient colonisées par la forêt. Pour l'aménagement des zones humides, je leur propose d'établir des dispositions réglementaires pour prévenir et réguler les activités de pêches de subsistance par les populations riveraines. Elle indique aussi l'intérêt de vulgariser des nouvelles

techniques d'analyse complémentaire aux transects et susceptibles de prendre en compte l'ensemble des habitats d'une région, dans un protocole de recherche. Elle propose de réexaminer la place souvent accordée aux habitats de savane et des zones humides dans les protocoles de recherche par transects. L'étude par télémétrie est une bonne alternative à l'analyse des données sur les éléphants car elle prend en compte plusieurs facteurs écologiques, à l'instar des habitats les moins adaptés aux transects. L'analyse au moyen des distances de localisation est moins coûteuse, car il suffit de disposer d'un ordinateur muni d'un GIS, et d'un GPS. Les conclusions de cette étude visent à répondre efficacement aux objectifs d'aménagement du complexe de Gamba et des parcs nationaux aux caractéristiques végétales similaires. Ce travail vise à servir de support à la réalisation d'un premier plan directeur de conservation de l'éléphant de forêt, vivant sur la côte atlantique, au sud du Gabon. Comme nous pouvons le constater, la protection de l'habitat de savane et des zones humides apparaît comme un élément majeur pour le bien-être et la survie de l'éléphant de forêt dans le complexe de Gamba. En Afrique centrale, la recherche par télémétrie apparaît encore comme une innovation dans la recherche écologique. Cette technique déjà en pleine croissance, en Amérique du nord serait la bienvenue en Afrique, pour permettre des études comparatives. Malgré les résultats de cette étude, il ne fait aucun doute que l'étude de l'éléphant de forêt représente un grand défi pour les biologistes et les gestionnaires des aires espaces protégés du Gabon.

Rôle de cette étude comme modèle

Cette étude s'est appuyée sur une application pionnière de la télémétrie GPS sur les éléphants de forêt, vivant sur la côte atlantique, au sud du Gabon. Elle présente certains avantages de l'application de techniques d'analyse basées sur des distances obtenues avec de nouvelles technologies. Elle a permis d'élucider le degré d'association entre les éléphants de forêt, et les habitats du complexe, suscitant ainsi une meilleure compréhension de l'utilité de chaque habitat pour les éléphants. La nouvelle compréhension du milieu naturel face aux éléphants doit aider les futurs gestionnaires des parcs nationaux à mieux planifier

leurs activités d'aménagement et de gestion. Si l'on veut promouvoir des études similaires, il est important de réaliser des cartographies détaillées de chaque parc national pour faciliter des analyses basées sur la télédétection d'animaux. En somme, cette étude n'aurait pas eu lieu sans la présence des outils modernes d'analyse, comme SAS et de GIS. Ainsi donc, la nécessité de disposer de ces outils d'analyse devient évidente pour les chercheurs impliqués au défi de la conservation. Si l'on veut promouvoir des études sur la sélection d'habitat par les éléphants de forêt, la mise en place des petites unités d'analyse des données s'impose. La nécessité de travailler en collaboration avec les organismes internationaux et les universités disposant déjà de ces outils modernes d'analyse, apparaît utile à la sauvegarde des éléphants de forêt à long terme. Le rôle de cette étude comme modèle repose à la fois sur une meilleure connaissance de l'éléphant de forêt et de son habitat préféré, sur la côte atlantique.

Importance des zones humides

Les zones humides sont utiles à la conservation des éléphants parce qu'elles répondent à leurs besoins vitaux. Elles sont considérées comme un abri, un lieu de ravitaillement en nourriture (Fustec and Lefevre, 2000). C'est un espace privilégié, dans lequel les éléphants et bien d'autres espèces animales s'y rendent pour satisfaire leur besoin en eau. Les milieux humides disposent des formations végétales comme le Papyrus (*Cyperus papyrus*) à l'origine d'accès difficiles aux humains et de la sécurité des éléphants. Plusieurs espèces de plantes, s'y trouvent, par exemple l'*Anthocleista vogelii* dont les fruits sont beaucoup appréciés par les chauves-souris. Les zones humides favorisent la présence des *Raphia spp*, une espèce aux utilisations aussi nombreuses que variées. Sa sève peut être recueillie par les populations locales pour faire du vin de palme, ses feuilles peuvent être tissées pour faire des toitures et les jeunes segments pour fabriquer des tissus. Les zones humides sont aussi utiles à la conservation de l'avifaune aquatique, à l'instar de Pélican gris (*Pelecanus rufescens*), de la Grande aigrette (*Egretta alba*), d'Ibis d'hagedash (*Bostrychia hagedash*), du Canard de Hartlaub (*Pteronetta hartlaubii*) et des Martin-pêcheur

pie (*Ceryle rudis*) qui affectionnent particulièrement ce type d'habitat. Au-delà des éléphants et des oiseaux, les zones humides sont aussi utiles à la préservation des espèces rares, comme l'Hippopotame (*Hyppopotamus amphibius*), le crocodile du Nil (*Crocodylus niloticus*), le Sitatunga (*Tragelaphus spekeii*) et le Lamentin (*Trichechus senegalensis*). Ces milieux humides sont d'une importance capitale car la vie économique de plusieurs pays africains dépend des recettes pétrolières, dont les gisements se trouvent souvent enfuis sous ce genre d'habitat. Les zones humides, constituées des végétations de mangroves, sont des habitats propices à la nutrition et la reproduction des poissons. Elles participent au maintien et à la régulation des processus biologiques (Rydin and Jeqlum, 2006). Les zones humides localisées le long des côtes favorisent la présence de la végétation de mangrove. Cette végétation est bien connue pour stabiliser les sols à l'aide de leur système racinaire, et à lutter efficacement contre l'érosion côtière. Les zones humides diminuent la vitesse d'écoulement des cours d'eau et favorisent ainsi donc la sédimentation des particules qui peuvent être à l'origine des gisements pétroliers qui alimentent les recettes des gouvernements et amènent des retombées économiques dans la sous-région. Elles offrent en même temps un abri de qualité, de la nourriture et des aires de reproduction à la faune aquatique. Ces milieux aident à la maîtrise des crues et supportent des grandes quantités d'organismes vivants. Ils contribuent à l'atténuation des changements climatiques et sert de réservoir à la biodiversité (Finlayson et al., 2005). L'esthétique des milieux humides peut offrir de meilleures opportunités de divertissement et d'éducation aux touristes. Les zones humides sont des sources d'approvisionnement en eau et en poisson pour les populations locales. On sait que les poissons ont une importance dans le développement d'un pays, car ils comptent parmi les premières sources de protéines animales en milieu rural. Elles supportent et régulent le cycle des nutriments indispensables au fonctionnement des écosystèmes bénéfiques aux éléphants. Ce sont en même temps des milieux de valeur éducationnelle, culturelle et spirituelle.

Perspectives de recherche

Pour donner une suite favorable à cette étude, il serait utile de renforcer la taille d'échantillon, en augmentant le nombre des points GPS, mais aussi et surtout le nombre de groupes avec au moins un individu porteur de collier et de suivre les déplacements sur le terrain pour mieux comprendre leur signification. Ceci augmenterait sensiblement la portée géographique du projet, en considérant d'autres sites. Une étude spécifique sur les interactions sociales intra et inter groupes serait indispensable pour élucider le degré de compétition entre individus et entre groupes. L'analyse de la configuration spatiale des habitats isolés serait aussi utile pour comprendre davantage l'impact de la fragmentation d'habitats sur les déplacements des éléphants ultimement. L'analyse des effets des distances aux infrastructures humaines, comme les chemins et les villages est indispensable pour mesurer l'influence des activités humaines sur la conservation des éléphants dans le complexe. Une étude sur la biologie de l'éléphant de forêt est indispensable pour comprendre l'intérêt ultime des zones humides dans la conservation.

Bibliographie

- AEBISCHER, N. J., ROBERTSON, P. A. & KENWARD, R. E. (1993) Compositional analysis of habitat use from animal radio-tracking data. *Ecology*, **74**, 1313-1325.
- ALEXANDRE, D. Y. (1978) Le rôle disséminateur des éléphants de forêt de Tai, Côte-d'Ivoire. *La Terre et la Vie*, **32**, 47-72.
- ANTHONY, C. N. & ANDREW, J. P. (2003) Seed germination and early seedling establishment of elephant-dispersed species in Banyang-Mbo Wildlife Sanctuary, south-western Cameroon. *J. Trop. Ecol.*, **19**, 229-237.
- BARNES, R. F. W. (1983) Effects of elephant browsing on woodlands in a Tanzanian national park: measurements, models and management. *J. Appl. Ecol.*, **20**, 521-539.
- BARNES, R. F. W., BLOM, A., ALERS, M. P. T. & BARNES, K. L. (1995) An estimate of the numbers of forest elephants in Gabon. *J. Trop. Ecol.*, **11**, 27-37.
- BARNES, R. F. W., NOUNGOU, A., ONDO, M. & EKAKAMBA, J. J. (1992) Étude préliminaire de l'écologie de l'éléphant dans la réserve de faune de Petit Loango. MINEF, Libreville, Gabon.
- BENAKA, L. R. (1999) *Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- BLAKE, S., DOUGLAS-HAMILTON, I. & KARESH, W. B. (2001) GPS telemetry of forest elephants in Central Africa : result of a preliminary study. *Afr. J. Ecol.*, **39**, 178-186.
- BLAKE, S. & SIMON, H. (2004) Sinking the flagship: the case of forest elephants in Asia and Africa. *Conserv. Biol.*, **18**, 1191-1202.
- BLANEY, S. & THIBAUT, M. (2003) Adapting PRA to protected area management in Central Africa. *PLA notes*, **47**, 33-37.
- BOURGEAIS, J. (2001) Impact de l'exploitation pétrolière dans le complexe de Gamba: le pire est à venir. *Canopée*, **21**, 5-7.
- BRODY, A. J. & PELTON, M. R. (1989) Effects of roads on black bear movements in western North Carolina. *Wildl. Soc. Bull.*, **17**, 5-10.
- CITES (1973) *Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction*, IUCN (World Conservation Union), Washington, DC, USA.

- COHN, J. P. (2007) The Social Lives of Elephants. *Zoogoer*, **36**, 4.
- CONNER, L. M., SMITH, M. D. & BURGER, L. W. (2003) A comparison of distance-based and classification-based analyses of habitat use. *Ecology*, **84**, 526-531.
- DALE, R. H. I., HAGAN, D. A. & SHYAN, M. R. (1992) Preliminary studies of spatial memory in captive African Elephants. *Bull. Psychonomic Soc.*, **30**, 486-486.
- DECESARE, N. J., SQUIRES, J. R. & KOLBE, J. A. (2005) Effect of forest canopy on GPS-based movement data. *Wildl. Soc. Bull.*, **33**, 935-941.
- DHONDT, A. A. (1977) Interspecific competition between Great and Blue Tit. *Nature*, **268**, 521-523.
- DOUGLAS-HAMILTON, I. (1996) Comptage des éléphants par l'air-comptages totaux. In: *Manuel technique AWF 7: L'étude des éléphants* (Ed. K. KANGWANA). African Wildlife Foundation, Nairobi, Kenya.
- DUSSAULT, C., COURTOIS, R., OUELLET, J. P. & GIRARD, I. (2005) Space use of moose in relation to food availability. *Can. J. Zool.*, **83**, 1431-1437.
- ESRI (2006) *ArcGIS® 9.2*, Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA, U.S.A.
- FINLAYSON, C. M., CRUZ, D. R. & NICK, D. (2005) *Wetlands and Water: Ecosystems and Human Well-being* World Resources Institute, Washington, DC, USA.
- FUSTEC, E. & LEFEUVRE, J.-C. (2000) *Fonctions et valeurs des zones humides*, Dunod, Paris.
- HALL-MARTIN, A. J. (1987) Role of musth in the reproductive strategy of the African elephant (*Loxodonta africana*). *S. Afr. J. Sci.*, **83**, 616-620.
- HARRIS, R. B., FANCY, S. G., DOUGLAS, D. C., GARNER, G. W., AMSTRUP, S. C., MCCABE, T. R. & PANK, L. F. (1990) Tracking wildlife by satellite : current systems and performance. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC, USA.
- HENSCHER, P. & RAY, J. (2003) *Léopards dans les forêts pluviales d'Afrique: méthodes de relevé et de surveillance*. Wildlife Conservation Society, New York, N.Y., USA.
- JOHNSON, A. R., WIENS, J. A., MILNE, B. T. & CRIST, T. O. (1992) Animal movements and population dynamics in heterogeneous landscapes. *Landscape Ecol.*, **7**, 63-75.

- KANGWANA, K. (Ed.) (1996) *L'étude des éléphants*, African Wildlife Foundation, Nairobi, Kenya.
- KINGDON, J. (1997) *The Kingdon field guide to African mammals*, Academic Press, London.
- LAURANCE, W. F., CROES, B. M., TCHIGNOUMBA, L., LAHM, S. A., ALONSO, A., LEE, M. E., CAMPBELL, P. & ONDZEANO, C. (2005) Impacts of roads and hunting on Central African rainforest mammals. *Conserv. Biol.*, **20**, 1251-1261.
- LEUTHOLD, W. (1977) Spatial organization and strategy of habitat utilization of elephants in Tsavo National Park, Kenya. *Z. Säugetierkd.*, **42**, 358-379.
- LEUTHOLD, W. & SALÉ, J. B. (1973) Movements and patterns of habitat utilization of elephant in Tsavo National Park, Kenya. *E. Afr. Wildl. J.*, **11**, 369-384.
- LITTELL, R. C., MILLIKEN, G. A., STROUP, W. W. & WOLFINGER, R. D. (1996) *SAS System for Mixed Models*, SAS Institute Inc., Cary, N.C., U.S.A.
- MANLY, B. F. J. (2002) *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*, Kluwer, Boston, Mass., USA.
- MILNER-GUILLAND, E. J. & BEDDINGTON, J. R. (1993) The relative effects of hunting and habitat destruction on elephant population dynamics over time. *Pachyderm*, **17**, 75-90.
- MOMONT, L. (2007) Sélection de l'habitat et organisation sociale de l'éléphant de forêt, *Loxodonta africana cyclotis* (Matschie 1900), au Gabon. In: *Muséum national d'histoire naturelle*. Ecole doctorale Sciences de la Nature et de l'Homme (ED 227), France.
- MORGAN, B. J. & LEE, P. C. (2007) Forest elephant group composition, frugivory and coastal use in the Réserve de Faune du Petit Loango, Gabon. *Afr. J. Ecol.*, **45**, 519-526.
- MOSS, C. J. & POOLE, J. H. (1983) Relationships and social structure in African elephants. In: *Primate Social Relationships: An Integrated Approach* (Ed. R. A. HINDE). Blackwell, Oxford, UK.
- NELLEMAN, C. & CAMERON, R. D. (1998) Cumulative impacts of an evolving oil-field complex on the distribution of calving caribou. *Can. J. Zool.*, **76**, 1,420.
- NELLEMAN, C. & NEWTON, A. (Eds.) (2002) *The Great Apes: the road ahead*, UNEP, GRID-Arendal, Arendal, Norway.

- PARKER, I. S. C. & GRAHAM, A. D. (1989) Elephant decline: downward trends in African elephant distribution and numbers (part ii). *Int. J. Environ. Stud.*, **35**, 13-26.
- PETTORELLI, N. (2002) Variabilité individuelle et dynamique de populations: l'importance de la composante spatiale. University of Lyon, Lyon, France.
- PLUMPTRE, A. J., KUJIRAKWINJA, D. & KOBUSINGYE, S. (2003) Collaboration transfrontalière entre le parc national des Virunga, RDC et les parcs nationaux Queen Elizabeth, Rwenzori et Semuliki, Ouganda. Wildlife Conservation Society, Bronx, N. Y., USA.
- POOLE, J. H. (1996) L'éléphant d'Afrique. In: *Manuel technique AWF 7: L'étude des éléphants* (Ed. K. KANGWANA). African Wildlife Foundation, Nairobi, Kenya.
- POWELL, J. (1997) The ecology of forest elephants (*Loxodonta africana cyclotis* Matschie 1900) in Banyang-Mbo and Korup Forests, Cameroon with particular reference to their role as seed dispersal agents. . University of Cambridge, England.
- ROCA, A. L., GEORGIADIS, N., PECON-SLATTERY, J. & O'BRIEN, S. J. (2001) Genetic evidence for two species of elephant in Africa. *Science*, **293**, 1473-1477.
- RYDIN, H. & JEQLUM, K. J. (2006) *The Biology of Peatlands*, Oxford University Press Oxford, UK.
- SIKES, K. S. (1971) *The natural history of the African elephant*, Weidenfeld and Nicolson, London, UK.
- SUZUKI, S., TAKENOSHITA, Y., MORGAN, B. J. & YAMAGIWA, J. (1999) Mécanisme de co-évolution et de co-existence des grands singes africains avec d'autres larges mammifères et en relation avec la phénologie. DFC, Gabon.
- TELLO, J. (2000) Inquiétante recrudescence du braconnage des éléphants dans le Nord de la Centrafrique. *Canopée*, **17**, 11-12.
- THOMAS, D. L. & TAYLOR, E. J. (1990) Study designs and tests for comparing resource use and availability. *J. Wildl. Manage.*, **54**, 322-330.
- THOULESS, C. R., HOARE, R. & MULAMA, M. (1992) Satellite tracking of elephants in Laikipia District, Kenya. *Pachyderm*, **15**, 28-33.
- TROMBULAK, S. C. & FRISSELL, C. A. (2000) Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conserv. Biol.*, **14**, 18-30.

- WALSH, P. D., ABERNETHY, K. A., BERMEJO, M., BEYERS, R., WACHTER, P. D., ELLA AKOU, M., HUIJBREGTS, B., IDIATA-MAMBOUNGA, D., KAMDEM TOHAM, A., KILBOURN, M. A., LAHM, S. A., LATOUR, S., MAISELS, F., MBINA, C., MIHINDOU, Y., NDONG OBIANG, S., NTSAME EFFA, E., STARKEY, M. P., TELFER, P., THIBAUT, M., TUTIN, E. G. C., WHITE, L. J. T. & WILKIE, S. D. (2003) Catastrophic ape decline in western equatorial Africa. *Nature*, **422**, 611-614.
- WALSH, P. D., THIBAUT, M., MIHINDOU, Y., IDIATA, D. M., MBINA, C. & WHITE, L. J. T. (2000) A statistical framework for monitoring forest elephants. *Natural Resource Modeling*, **13**, 89-134.
- WALSH, P. D., THIBAUT, M., MIHINDOU, Y., IDIATA, D. M., MBINA, C. & WHITE, L. J. T. (2001) Estimates of forest elephant abundance : projecting the relationship between precision and effort. *J. Appl. Ecol.*, **38**, 217-228.
- WESTERN, D. (1975) Water availability and its influence on the structure and dynamics of a savannah large mammal community. *E. Afr. Wildl. J.*, **13**, 265-286.
- WESTERN, D. & LINDSAY, W. K. (1984) Seasonal herd dynamics of a savanna elephant population. *Afr. J. Ecol.*, **22**, 229-244.
- WHITE, L. J. T. (1994a) Biomass of rain forest mammals in the Lopé Reserve, Gabon. *J. Anim. Ecol.*, **63**, 499-512.
- WHITE, L. J. T. (1994b) *Sacoglottis gabonensis* fruiting and the seasonal movements of elephants in Lopé Reserve, Gabon. *J. Trop. Ecol.*, **10**, 121-125.
- WHITE, L. J. T. & EDWARDS, A. (2001) *Conservation en forêt pluviale africaine : méthodes de recherche*, Multipress-Gabon, Libreville.
- WHITE, L. J. T., TUTIN, C. E. G. & FERNANDEZ, M. (1993) Group composition and diet of forest elephants, *Loxodonta africana cyclotis* Matschie 1900, in the Lopé Reserve, Gabon. *Afr. J. Ecol.*, **31**, 181-199.
- WHITESIDES, G. H., OATES, J. F., GREEN, S. M. & KLUBERDANZ, R. P. (1988) Estimating primate densities from transects in a West African rain forest: a comparison of techniques. *J. Anim. Ecol.*, **57**, 345-367.
- WHYTE, I. (1996) L'étude des déplacements des éléphants. In: *Manuel technique AWF 7: L'étude des éléphants* (Ed. K. KANGWANA). African Wildlife Foundation, Nairobi, Kenya.
- WORTON, B. J. (1987) A review of models of home range for animal movement. *Ecol. Model.*, **38**, 277-298.

ANNEXE : Programme d'analyse de données

```

* Ce programme a été exécuté avec le progiciel SAS 9.1, version Windows;
options nodate nonumber;run;
goptions devmap=winansi keymap=winansi ftext=swiss;
symbol1 color = red interpol = none value = dot height=0.5;
symbol2 color =green interpol = none value = dot height=0.5;
title1 "Analyses données GPS 2003-2004";
PROC IMPORT OUT= WORK.ele_long
  DATAFILE= "T:\Faune\Commun\IDIATA_Daniel\AllEle_2007b.xls"
  DBMS=EXCEL REPLACE;
  SHEET="PourSAS$";
  GETNAMES=YES;
  MIXED=NO;
  SCANTEXT=YES;
  USEDATE=YES;
  SCANTIME=YES;
RUN;
* PROC FREQ pour presenter les nombres de points pour chaque elephant et
saison et jour/nuit;
proc freq data=ele_long;
  title2 "Données originales";
  table ele_id*source*saison ele_id*source*jour /nocol norow nopercnt;
run;
data ele_long;
  set ele_long;
  culture=culture/1000;
  foret=foret/1000;
  savane=savane/1000;
  zhumide=zhumide/1000;
  lculture=log(culture);
  lforet=log(foret);
  lsavane=log(savane);
  lzhumide=log(zhumide);
  if saison="ph1_2003" then saison="ph1";* fusionner;
  if culture lt 0.001 then habitat="culture";
  if foret lt 0.001 then habitat="foret";
  if savane lt 0.001 then habitat="savane";
  if zhumide lt 0.001 then habitat="zhumide";
run;
* Proximité du territoire aux differents habitats;
proc freq data=ele_long;
  table habitat*source;
run;
proc means data=ele_long;
  where source="aleatoire";
  var culture foret savane zhumide;
run;
proc freq data=ele_long;
  title2 "Données fusionnées";
  table ele_id*source*saison /nocol norow nopercnt;
run;
proc sort data=ele_long;
  by ele_id saison transdate minutetot source;

```

```

data ele_large;
  set ele_long;
  drop pointID1 culture1 foret1 savanel zhumidel lculture1 lforet1
lsavanel lzhumidel;
  retain PointID1 culture1 foret1 savanel zhumidel lculture1 lforet1
lsavanel lzhumidel 0;
  if (pointID = pointID1) then do;
    culture_diff=culture-culture1; * Donc valeurs negatives
signifient GPS plus proche que aleatoire;
    foret_diff=foret-foret1;
    savane_diff=savane-savanel;
    zhumide_diff=zhumide-zhumidel;
    lculture_diff=lculture-lculture1; * Donc valeurs negatives
signifient GPS plus proche que aleatoire;
    lforet_diff=lforet-lforet1;
    lsavane_diff=lsavane-lsavanel;
    lzhumide_diff=lzhumide-lzhumidel;
    output;
  end;
  else do;
    pointID1=pointID;
    culture1=culture;
    foret1=foret;
    savanel=savane;
    zhumidel=zhumide;
    lculture1=lculture;
    lforet1=lforet;
    lsavanel=lsavane;
    lzhumidel=lzhumide;
  end;

run;
* Evaluer le temps ecoule entre 2 observations successives pour un meme
elephant;
proc sort data=ele_large;
  by ele_id transdate minutetot;
run;
data t1;
  set ele_large;
  by ele_id;
  drop transdate1 minutetot1 ecoule1 pres prec;
  retain transdate1 minutetot1 ecoule1;
  if first.ele_id then do;
    ecoule=.;
    output;
    ecoule1=0;
  end;
  else do;
    pres=transdate + minutetot/(24*60);
    prec=transdate1 + minutetot1/(24*60);
    ecoule= ecoule1 + 24*(pres-prec);
    if ecoule > 7.9 then do;
      ecoule1=0;
      output;
    end;
    else ecoule1=ecoule;
  end;
  transdate1=transdate;
  minutetot1=minutetot;
run;
proc gchart data=t1;
  title1;

```

```

axis1 label=(angle=90 h=1.5 'Nombre de positions') minor=(number=1
h=0.5) value=(h=1.5) major=(number=8 h=1)
order=0 to 2000 by 500 length=20;
axis2 label=(h=1.5 "Intervalle de temps (heures)") value=(h=1.5)
length=40;
pattern1 value=l1 color=black;
vbar ecole/width=10 space=1 raxis=axis1 maxis=axis2 midpoints=8 12
16 24 240 noframe ;
*ods rtf;
run;
proc sort data=t1;
by saison transdate minutetot;
* Distances absolues vs saisons;
proc gchart data=t1;
title1;
pattern1 value=s color=black;
axis1 label=(angle=90 h=1.5 "") value=(h=1) length=80; * axe
horizontal;
axis2 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité à la forêt (km)') order= 0 to
8 by 1 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
vbar ele_id /group=saison sumvar=foret ref=2.922 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis2 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
axis3 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité à la savane (km)') order= 0 to
8 by 1 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
vbar ele_id /group=saison sumvar=savane ref=0.118 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis3 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
axis4 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité aux zones humides (km)')
order= 0 to 8 by 1 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
vbar ele_id /group=saison sumvar=zhumide ref=0.850 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis4 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
*ods rtf;
run;
* Distances relatives vs saisons;
proc gchart data=t1;
title1;
axis1 label=(h=1.5 "") value=(h=1) length=80; * axe horizontal;
axis2 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative à la forêt (km)')
order= -2 to 2 by 0.5 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
pattern1 value=s color=black;
vbar ele_id /group=saison sumvar=foret_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis2 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
axis3 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative à la savane (km)')
order= -0.5 to 0.5 by 0.1 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
vbar ele_id /group=saison sumvar=savane_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis3 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
axis4 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative aux zones humides
(km)') order= -1 to 1 by 0.25 major=(h=1)
minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
vbar ele_id /group=saison sumvar=zhumide_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis4 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
*ods rtf;
run;
* Distances absolues vs jour/nuit;

```

```

proc gchart data=t1;
  title1;
  pattern1 value=s color=black;
  axis1 label=(h=1.5 "") value=(h=1) length=80; * axe horizontal;
  axis2 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité à la forêt (km)') order= 0 to
8 by 1 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=foret ref=2.922 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis2 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
  axis3 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité à la savane (km)') order= 0 to
8 by 1 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=savane ref=0.118 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis3 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
  axis4 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité aux zones humides (km)')
order= 0 to 8 by 1 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=zhumide ref=0.850 lref=3 type=mean
errorbar=both width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis4 midpoints=8 12 16 24
240 noframe ;
  *ods rtf;
  run;
* Distances relatives vs jour/nuit;
proc gchart data=t1;
  title1;
  axis1 label=(h=1.5 "") value=(h=1) length=80; * axe horizontal;
  axis2 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative à la forêt (km)')
order= -2 to 2 by 0.5 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  pattern1 value=s color=black;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=foret_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis2 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
  axis3 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative à la savane (km)')
order= -0.5 to 0.5 by 0.1 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=savane_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis3 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
  axis4 label=(angle=90 h=1.5 'Proximité relative aux zones humides
(km)') order= -1 to 1 by 0.25 major=(h=1)
  minor=(number=1 h=0.5) value=(h=1.5) length=30;
  vbar ele_id /group=jour sumvar=zhumide_diff type=mean errorbar=both
width=10 space=1 maxis=axis1 raxis=axis4 midpoints=8 12 16 24 240 noframe ;
  *ods rtf;
  run;
*ods rtf close;
proc mixed data=t1;
  title "Forêt (GPS vs aléatoire)";
  class ele_id saison jour;
  model foret_diff = saison | jour/solution ddfm=bw;
  lsmeans saison jour;
  repeated/subject=ele_id type=ar(1);
  run;
proc univariate data=t1 plot normal;
  TITLE "Normalité";
  var Foret_diff;
  histogram Foret_diff;
  run;
proc mixed data=t1;
  title "Savane (GPS vs aléatoire)";

```

```
class ele_id saison jour;
model savane_diff = saison | jour/solution ddfm=bw;
lsmeans saison jour;
repeated/subject=ele_id type=ar(1);
run;
proc univariate data=t1 plot normal;
  TITLE " Normalité";
  var savane_diff;
  histogram savane_diff;
run;
proc mixed data=t1;
  title "Zones humides (GPS vs aléatoire)";
  class ele_id saison jour;
  model zhumide_diff = saison | jour/solution ddfm=bw;
  lsmeans saison jour;
  repeated/subject=ele_id type=ar(1);
run;
proc univariate data=t1 plot normal;
  TITLE "Normalité";
  var zhumide_diff;
  histogram zhumide_diff;
run;
```