

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

## **PLAN TYPE DE RAPPORT FINAL D'UN PROJET DE RECHERCHE DU PROGRAMME ET**

Note : le rapport, une fois finalisé, sera téléchargeable sur le site Internet d'ECOFOR ou du MEEDDM, hormis la partie confidentielle éventuelle.

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*



## **LES GORILLES : UN MAILLON DANS LE CYCLE DU VIRUS EBOLA EN FORET TROPICALE : DU RESERVOIR A L'HOMME, MECANISMES ET CONSEQUENCES DE LA MALADIE**

## **THE GORILLAS : A LINK IN THE CYCLE OF TROPICAL FOREST IN EBOLA: FROM THE RESERVOIR TO HUMANS, MECHANISMS AND CONSEQUENCES OF THE DISEASE**

**Programme Ecosystèmes Tropicaux  
Rapport de fin de contrat**

**Nelly Ménard**  
UMR 6553, ECOBIO  
Station Biologique de Paimpont  
35380 Paimpont  
Tél : (+33) (0)2.99.61.81.72  
Fax : (+33) (0)2.99.61.81.87  
Courriel : nelly.menard@univ-rennes1.fr

Date : 18/09/2010

N° de contrat : 0000277  
Date du contrat : 18/09/2006

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

## **TABLE DES MATIERES**

Remarques concernant ce document .....	4
Synthèse destinée à publication.....	5
Résumés .....	14
Rapport scientifique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Annexe : copie des publications.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Annexe : partie confidentielle .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **REMARQUES CONCERNANT CE DOCUMENT**

- ❖ La mise en forme de ce rapport, hormis sa partie scientifique et les annexes, doit être respectée. Ce format imposé permettra au Service de la recherche une copie automatique vers d'autres documents à usage interne ou externe.
- ❖ Merci de limiter la taille de votre document à 5Mo (merci de réduire le poids des photos notamment).
- ❖ Votre rapport doit nous parvenir sous forme électronique ainsi que sous format papier en 3 exemplaires en recto-verso, interligne simple, sans couverture plastique ni spirales. Des exemplaires supplémentaires, à la charge du ou des bénéficiaire(s), seront éventuellement demandés (art. 4 de la convention).
- ❖ Les versions électroniques des **résumés** et de la **synthèse** de votre rapport doivent impérativement nous parvenir sous format modifiable rtf afin de pouvoir être réutilisés pour valorisation ou publiés (après relecture de votre part), ainsi que sous format pdf (art. 4 de la convention).
- ❖ Les documents de ce rapport, en dehors de l'éventuelle partie confidentielle, serviront aussi bien pour l'évaluation du projet que pour la valorisation des résultats.

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

## **SYNTHESE DESTINEE A PUBLICATION**

# **LES GORILLES : UN MAILLON DANS LE CYCLE DU VIRUS EBOLA EN FORET TROPICALE : DU RESERVOIR A L'HOMME, MECANISMES ET CONSEQUENCES DE LA MALADIE**

## **PROGRAMME ECOSYSTEMES TROPICAUX**

### **ASPECTS ADMINISTRATIFS ET OBJECTIFS DES RECHERCHES**

#### **ASPECTS ADMINISTRATIFS**

**Date d'engagement :**

**Montant du budget : 80 000€**

- Université de Rennes1 : 60 000€
- -Université de Barcelone : 20 000€

**Cofinancements obtenus :**

**Programme ECOFAC IV (UE), Direction du Parc National d'Odzala-Kokoua (PNOK) : 68 000€, juin 2008/décembre 2009.**

**CAREN Rennes : 1500€**

**Participants au projet :**

Responsable scientifique du projet :

**Nelly Ménard**

UMR 6553, ECOBIO

Station Biologique de Paimpont

35380 Paimpont

Tél : (+33) (0)2.99.61.81.72

Fax : (+33) (0)2.99.61.81.87

Courriel : nelly.menard@univ-rennes1.fr

#### Noms et organismes des autres partenaires scientifiques bénéficiaires

**Eric Petit**, (MC, en délégation à l'INRA en 2008-2010), **Dominique Vallet**, (IE CNRS, ECOBIO Rennes), **Pascaline LeGouar**, (Postdoctorante, Univ. Rennes1), **Peggy Motsch**, (stagiaire, Univ. Rennes1), **Guillaume LeFlohic**, (ENSA Rennes), **Quentin Gautier**, (stagiaire, Univ. Tours), **Audrey Lavandier** (stagiaire, Univ. Montpellier), **Céline Genton**, doctorante, ECOBIO, Rennes), **Magdalena Bermejo Espinet** (Univ. Barcelone), **José Domingo Rodríguez Teijeiro** (Univ. Barcelone), **Roser Farrés Corell** (Univ. Barcelone), **Víctor Bonet Arbolí**, (Univ. Barcelone), **Elvis Rodrigue Gabikiny Gambou** (Doctorant, Univ. Brazzaville), **Leslie Knapp** (Univ. Cambridge).

**MOTS CLES :** Zoonoses, Ebola, gorilles, conditions écologiques, dynamique des populations, génétique des populations.

**OBJECTIFS DES RECHERCHES :** Maintenir une veille épidémiologique sur les populations étudiées dans l'aire des épidémies Ebola du Nord Congo (parc d'Odzala et sanctuaire de Lossi) ; préciser les facteurs écologiques susceptibles de favoriser l'émergence de la maladie chez les gorilles ; mesurer l'effet des épidémies Ebola sur le potentiel reproducteur des gorilles et la dynamique des populations ; estimer l'impact de la diversité génétique des gorilles après un effondrement démographique du aux épidémies et préciser l'effet sur la redistribution des gènes.

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

## **I. PRESENTATION DES TRAVAUX**

### **INTRODUCTION (problématiques)**

En forêt tropicale, les variations de densité des populations sont liées aux variations naturelles des ressources mais également aux pressions anthropiques comme la chasse ou la déforestation. Au fur et à mesure de la pénétration humaine en forêt, les maladies représentent une autre menace qui affecte particulièrement les grands singes, phylogénétiquement proche de l'homme. Les gorilles se sont ainsi montrés aussi vulnérables que l'homme au virus Ebola avec plus de 95% de mortalité. Les épidémies ont touchés préférentiellement les individus qui vivent en groupes c'est-à-dire les femelles et les individus immatures. Les mâles, dont une grande partie sont solitaires du fait de l'organisation sociale du gorille en harems, ont été mieux préservés. Dans notre projet, nous avons donc voulu préciser 1) les conditions écologiques de la diffusion de la maladie dans les populations de gorilles, 2) l'impact du passage de la maladie sur la démographie et la dynamique les populations et leurs capacités de récupérations, 3) les conséquences sur la diversité et la distribution des gènes dans ces populations.

### **MATERIELS ET METHODES (sites, espèces, protocoles...)**

Nos sites d'étude sont le Parc National d'Odzala-Kokoua et le Sanctuaire de Lossi en République du Congo dans lesquels des études sur des populations de gorilles sont menées depuis 2001 et 1995 respectivement. Ces populations ont été affectées par des épidémies Ebola en 2004 pour Odzala et en 2002 et 2003 pour Lossi. Le sanctuaire de Lossi est composé d'une forêt relativement continue tandis que le parc d'Odzala est caractérisé par la présence de clairières salifères incluses. Deux populations de ces sites étaient intensivement étudiées et leur dynamique connue au moment des épidémies qui ont décimé plus de 95% de leurs effectifs. Il s'agit de la population visiteuse de la clairière de Lokoué à Odzala et de la population de Lossi à l'Ouest de la rivière Ambambara. Ces deux populations représentent des cas uniques de populations de grands singes qui ont subi un effondrement démographique brutal et qui ont été étudiées avant, pendant et après des telles épidémies. Après les épidémies nous avons étendu nos observations à deux autres populations périphériques (Romani à Odzala et Lossi à l'Est de la rivière Ambambara). L'étude démographique a été abordée à Lokoué et Romani par l'observation, à partir de miradors des gorilles qui viennent consommer les végétaux riches en minéraux des clairières. Leur composition globale et celle des groupes sociaux a été établie sur la base d'une identification de tous les individus. Tous les événements démographiques ont été notés. A Lossi, en l'absence de clairières, il est impossible d'obtenir des informations de démographie et de dynamique en méthode directe à l'échelle individuelle. Les données démographiques ont été obtenues de façon indirecte par la méthode des transects au cours desquels les sites de nids étaient relevés ainsi que le nombre de nids (donc la taille des groupes) sur ces sites. Ces méthodes nous permettent notamment de comparer les différentes populations en termes d'effectifs, de proportion de mâles solitaires et de taille de groupes, paramètres clés dans un contexte post épidémique. Les conditions écologiques favorisant la diffusion de la maladie ont été abordées par l'étude comparée de la densité des arbres à fruits dans les deux secteurs de Lossi à l'aide de trois transects de 4km le long desquels étaient notées la présence et la phénologie des arbres de 35 espèces dont les fruits sont connus comme partie du régime alimentaire des gorilles. Des collectes de faeces fraîches ont été faites dans les quatre populations et avant et après Ebola, soit lors de pistages des groupes ou des solitaires, soit sur les sites de nids lorsqu'il était possible de les localiser tôt le matin. Les extractions d'ADN ont été faites selon la méthode 2CTAB/PCI mise au point par notre laboratoire. Après avoir génotypé 17 marqueurs microsatellites, nous avons calculé les estimateurs de diversité génétique, les tailles efficaces, les différenciations génétiques entre populations, tester l'existence de signes de sélection et tester la présence d'immigrants.

## **RESULTATS**

L'étude démographique réalisée dans les populations de Lokoué et du Sanctuaire de Lossi dans lesquelles les effets des épidémies Ebola ont pu être analysés en période post-Ebola montre des caractéristiques communes: des effectifs extrêmement réduits, suite à un effondrement démographique de plus de 95%, et une densité très faible (0,2 ind./km<sup>2</sup>) comparée aux densités connues de ces populations avant épidémies ou d'autres populations de gorilles de plaine (5-10 ind. Km<sup>2</sup>), une proportion de mâles solitaires élevée (> 30%) et de très petites tailles des groupes reproducteurs (4 individus en moyenne). De plus, aucun des groupes en période post épidémique ne comprend toutes les classes d'immatures (enfant, juvéniles, subadultes et adolescents à « dos noirs ») caractéristiques d'un groupe social à maturité. Cette signature du passage d'une épidémie Ebola est encore décelable pendant 4 à 7 ans selon la population étudiée. A Lokoué, 6 ans après épidémie, les effectifs stagnent mais on note une récupération progressive de la structure démographique avec une diminution de la proportion des solitaires et une augmentation de la taille des groupes, dues au départ de quelques mâles, à l'arrivée de quelques femelles et au redémarrage de la reproduction. A Lossi par contre, tous les effets de l'épidémie persiste encore 7 ans après, ce qui peut-être du au passage de deux épisodes épidémiques successifs au lieu d'un seul. La récupération des populations est donc très lente comme on pouvait s'y attendre compte tenu du temps de maturation des gorilles.

Les deux autres populations étudiées, voisines des deux premières, ne présentent aucune des caractéristiques de populations post-Ebola. Plus de 100 gorilles par exemple visitent la clairière de Romani. Les proportions de mâles solitaires varient de 10 à 20% et est significativement plus faible que celles des populations ayant subi les épidémies. Les tailles de groupes correspondent à ceux d'autres populations saines (7,5 à 8,9 ind. en moyenne). Par ailleurs, tous les types de groupes y sont observés, groupes naissants (harems nouvellement formés avec 1 ou 2 femelles et enfants), groupes à maturité (harems avec un grand nombre de femelles et toutes les classes d'immatures, enfant, subadultes, juvéniles et black backs) et groupes sénescents (harems dont les femelles quittent progressivement le mâle, présence surtout de dos noirs et subadultes).

Notre étude précédente à Lokoué en phase pré-épidémique et sur de grands effectifs avait montré une certaine dynamique avec quelques migrations intergroupes de femelles et immatures et désintégration de groupes reproducteurs mais dans l'ensemble ces groupes restaient assez stables sur la période des deux ans d'étude. Notre étude sur une période de 6 ans (2005-2010) permet de mettre en évidence une dynamique insoupçonnée des populations à Lokoué et à Romani et une instabilité de la composition des populations. Quelques groupes n'ont pas été revus entre 2006 et 2008 tandis que de nouveaux groupes sont arrivés. Une telle instabilité n'a pas été observée dans des forêts continues et dépourvues de clairières comme celle de Lossi où les domaines vitaux des groupes étaient stables entre 1995 et 2002. Les caractéristiques écologiques différentes des sites pourraient expliquer ces différences. Dans les forêts avec clairières, jusqu'à 45 groupes peuvent inclure la même clairière dans leur domaine vital, ce qui peut provoquer une exploitation spatio-temporelle des habitats beaucoup plus instable. Un chevauchement important des domaines vitaux peut entraîner de fortes conditions de compétition et des glissements de certains groupes vers d'autres secteurs. A l'inverse, en forêt de Lossi, le domaine vital d'un groupe est chevauché par 3-4 autres domaines.

L'étude démographique met en évidence l'hétérogénéité spatiale de l'émergence et diffusion des épidémies Ebola. A Lossi, le secteur Est du sanctuaire n'a pas été touché par l'épidémie contrairement au secteur Ouest limitrophe. A Romani, dans le parc d'Odzala, la population ne montre aucun signe du passage de l'épidémie qui a sévit à Lokoué, 20 km au

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

Nord-Est. L'analyse écologique menée dans les deux secteurs de Lossi montre que le secteur à l'Est de la rivière Ambambara est principalement composé d'une forêt marécageuse à sous-bois dense de lianes avec des petites extensions de forêt mature et de forêt à sous-bois dense de marantacées. Dans le secteur Ouest de la rivière, le terrain descend de façon abrupte ce qui empêche la formation de grandes zones marécageuses. La forêt est composée d'un sous-bois dense de marantacées et comprend des petites portions de forêt mature (avec faible sous-bois) et de forêt marécageuse. Chacun des transects réalisés à Lossi comprend une majeure partie de la diversité spécifique globale d'arbres à fruits consommés par les gorilles. Les deux transects réalisés dans la partie Ouest de Lossi sont caractérisés par une plus grande richesse spécifique que la partie Est et un plus grand nombre d'individus (207 et 234 vs 136). Il semblerait donc que la population de gorilles qui n'a pas été touchée par l'épidémie, à l'Est du sanctuaire de Lossi, vit dans une forêt potentiellement moins riche en arbres fruitiers que la population qui a subi l'épidémie. Par ailleurs, nous avons montré une augmentation sensible de la disponibilité en fruits entre la période des pluies et la grande saison sèche, considérée la plus sensible pour l'émergence du virus.

Les analyses génétiques ont montré que malgré une importante baisse de la taille efficace (de 53 à 87% de diminution) des deux populations suivies (Lokoué et Lossi), nous n'avons pas détecté de perte de diversité génétique ou d'augmentation de la consanguinité à court terme après l'épidémie. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'immigration de nouveaux individus colonisant les territoires laissés vacants après le crash démographique ou par le fait que le temps entre les échantillonnages pré et post épidémies est trop court pour détecter un signal génétique. La première hypothèse n'est pas confirmée par les tests génétiques, mais il faut noter que ces tests ne sont puissants que pour détecter des individus migrants de populations bien différenciées génétiquement. L'analyse des derniers échantillons 6 ans après le crash permettra d'étudier la seconde hypothèse. Nous avons détecté pour la population de Lossi un changement de structuration génétique de la population post épidémique pour deux loci qui ne peut s'expliquer par une erreur d'échantillonnage ou la dérive génétique. Ce changement de structuration génétique s'explique par une mortalité non aléatoire induite par Ebola dans les populations. Deux processus peuvent expliquer les patrons observés. Le premier concerne la mortalité plus importante des individus dans les groupes sociaux que des individus solitaires avec une immigration de mâles solitaires, ceux-ci ayant des capacités de dispersion élevées. Cette hypothèse est en partie confirmée par le changement de composition des échantillons post épidémiques (plus de mâles et de solitaires dans les échantillons post épidémiques de Lossi et Lokoué). Le second processus est la potentielle sélection exercée par le virus dans les populations ; En effet un locus (lié à un gène impliqué dans la coagulation) présentant des changements de fréquences alléliques après Ebola, une signature génétique de pression de sélection a été mise en évidence. Pour étudier cette hypothèse nous avons mis en place un nouveau protocole d'étude de la variabilité de marqueurs génétiques sélectionnés (du complexe d'histocompatibilité majeur) avant et après Ebola à partir d'extraits d'ADN faiblement concentrés.

## **DISCUSSION**

Certaines conditions écologiques telles les structures des forêts et les disponibilités en arbres fruitiers semblent être de bons candidats pour expliquer l'émergence des épidémies Ebola. Par la suite, l'ampleur de la propagation au sein des populations de gorilles (par diffusion inter groupes) dépend probablement de la densité des populations et de la probabilité de rencontre entre les groupes. Nos résultats ne supportent pas l'hypothèse d'un front de diffusion de la maladie à laquelle les rivières pourraient faire barrière. L'hétérogénéité spatiale d'impact de la maladie observée suggère que les deux hypothèses de propagation, l'existence de foyers épidémiques multiples et un front de propagation par diffusion



*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

intergroupes ne sont sans doute pas exclusives. A un niveau régional, cela conduit à une fragmentation certaine de la population. On peut penser que l'organisation socio-spatiale de la population à une échelle régionale en a été profondément affectée. Les changements de composition des populations de Lokoué et Romani entre 2005 et 2010, qui indiquent que les groupes ne sont pas spatialement stables, pourraient être la conséquence de cette fragmentation. Les mâles solitaires des zones affectées peuvent partir à la recherche de femelles dans les zones peuplées tandis que les groupes peuvent être attirés par des secteurs de moins grande densité. Nous ne pouvons pas non plus exclure que la composition des populations de forêts avec clairières soit plus instables que celles des forêts plus continues pour des raisons écologiques, comme évoqué plus haut. Seules les comparaisons avec d'autres populations de clairières suivies pendant plusieurs années (Mbeli bai, WCS) nous permettront de trancher. Il existe une similitude d'effets de l'effondrement démographique du aux épidémies Ebola dans les deux populations étudiées : effectifs réduits, proportion anormale de mâles solitaires, petites tailles des groupes et présence de groupes naissants uniquement. Les effets persistent plusieurs années. Ces critères, utilisés en combinaison, pourraient être une piste intéressante pour détecter des signes d'épisodes épidémiques récents dans des populations inconnues. Les effets de l'effondrement démographique sur les caractéristiques génétiques sont probablement « tamponnés » par l'organisation sociale des gorilles avec dispersion partagée des sexes et flux de gènes élevés à une échelle régionale. De ce fait, malgré une réduction de taille efficace, on ne note pas de perte de diversité génétique à court terme. Les effets à plus long terme restent à analyser, notamment du fait de la fragmentation de la population à l'échelle régionale. On peut s'attendre par exemple à une dynamique importante chez les mâles solitaires en âge de créer un harem, avec des migrations des zones touchées par l'épidémie vers des zones non affectées comme celle de Romani et Lossi-Est.

#### **CONCLUSIONS - PERSPECTIVES**

Cette étude montre que la disponibilité en fruits peut être un facteur explicatif pertinent des émergences des épidémies Ebola et conforte l'hypothèse d'une transmission entre Mégachiroptères et gorilles. Cela mériterait une étude écologique plus élargie incluant les sites de forêts avec clairières incluses comme Lokoué et Romani. La restauration des populations après un effondrement démographique dû au passage de maladies aussi virulentes qu'Ebola est très lente chez les gorilles. Les effets dans la structure démographique sont encore visibles 7 ans après et les effectifs stagnent. Compte tenu de l'hétérogénéité spatiale de l'impact d'Ebola et de la fragmentation induite, la dynamique sociale et la dynamique des gènes mériteraient d'être suivies à une échelle régionale, en prenant comme référents les sites affectés et non affectés connus. Par ailleurs, dans la mesure où les épidémies Ebola représentent une forte pression de sélection, l'exploration des loci soumis à sélection est nécessaire pour étudier l'impact de la maladie sur le potentiel évolutif des populations gorilles, en comparaison avec l'étude des loci neutres.

#### **II. ACQUIS EN TERMES DE TRANSFERT**

(méthodes, recommandations de mise en place et de suivi, coûts, contacts, site de démonstration éventuel...) en se référant dans la mesure du possible aux axes de l'appel à propositions de recherche

Nos résultats sur le fonctionnement dynamique des populations de gorilles permettent de proposer des recommandations en termes de gestion. Ebola s'est propagé de façon très hétérogène dans le parc comme le montre nos résultats comparés sur deux populations. La population était de forte densité. Dans la mesure où le signal démographique du passage d'une épidémie persiste quelques années, il est donc fortement recommandé aux gestionnaires de planifier des missions de monitoring systématiques dans le parc avec répliques régulières de façon à constituer une base qui permettrait d'appréhender l'évolution des populations de

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

gorilles du parc. Les populations étudiées étaient les seuls « points zéros » très bien documentés du parc. La reconstitution d'une population après un crash démographique dû à Ebola est très lente, compte tenu de la durée de maturation des animaux. A ceci se superpose probablement des effets de dynamique sociale qu'il convient de prendre en compte. Dans la mesure où la maladie touche préférentiellement les groupes (donc femelles adultes et immatures), les mâles solitaires en âge de constituer leur harem se trouvent en sureffectifs immédiatement après l'épidémie. Cette situation les a probablement conduits à quitter la zone affectée vers des secteurs non affectés. Donc, contrairement à ce qu'on aurait pu attendre, dans un premier temps, les zones vacantes ont plutôt tendance à se vider qu'à être recoloniser. Ces mouvements de mâles, sur des distances encore inconnues, peuvent contribuer à de forts changements de la distribution des gènes à une échelle régionale. Ils peuvent partiellement expliquer la recrudescence de mâles dans la population de Romani, non affectée par les épidémies.

On peut penser que l'impact de l'épidémie Ebola a été d'autant plus fort que les populations affectées présentaient une forte densité (l'une des plus fortes densités connues). Les populations de gorilles du parc sont nettement fragilisées vis-à-vis d'autres menaces comme le braconnage. Compte tenu de la lenteur de reconstitution des populations, il y a lieu de continuer d'assurer une surveillance renforcée sur ces populations. Dans la réalité, comme le développement du parc repose en partie sur le tourisme de vision, l'intérêt des gestionnaires pour les sites qui ont subi Ebola s'est nettement réduit et des tentatives d'obtention de concessions forestières ont même été faites dans le sanctuaire de Lossi qui possède la forêt la mieux préservée. La mise en place de gestions participatives avec les villages du Sanctuaire de Lossi par l'équipe de M. Bermejo a permis de préserver ce site.

Les aires protégées sont importantes pour la conservation des grands singes et le maintien d'un potentiel touristique. Leur efficacité pour maintenir des populations viables passent également par la protection des animaux dans les aires périphériques des parcs pour garantir la connectivité des populations au sein de la région. M. Bermejo et son équipe ont mis en place un contexte de conservation communautaire dans la zone d'intervention de notre programme. Il s'agira d'assurer une gestion participative des ressources par les villages, notamment à travers le tourisme de vision des gorilles.

Le développement de la région d'Odzala et du Sanctuaire de Lossi dépend en partie de ce type de tourisme de vision des grands singes et des éléphants. Il s'agit d'un tourisme de luxe. Dans le Sanctuaire de Lossi, dépourvu de clairières salifères, cinq groupes étudiés par M. Bermejo depuis plusieurs années étaient habitués à l'observateur et constituaient des cibles de prédilection pour les visites par les touristes. Les animaux étaient tous connus individuellement, l'histoire démographique des groupes était connue il était possible de suivre les gorilles en forêt sans les perturber. La clairière salifère de Lokoué constituait un autre pôle très attractif complémentaire dans la mesure où ce site attirait pratiquement chaque jour une communauté d'espèces phares tels les gorilles et les éléphants. Les épidémies d'Ebola qui ont frappé ces deux sites à des périodes différentes montrent clairement la fragilité d'un développement de la région basé sur le tourisme de vision des gorilles. Le glissement de ce tourisme vers d'autres sites actuellement encore épargnés par la maladie reste de toute façon très aléatoire. Nous recommandons plutôt une solution alternative par l'une ouverture vers un tourisme de vision intégrant les connaissances des autres espèces et du fonctionnement de l'écosystème forestier et des clairières. En l'absence de gorilles sur les clairières, celles-ci accueillent quotidiennement un grand nombre d'autres espèces de mammifères tels les buffles de forêts, les sitatungas, les antilopes, les potamochères et hylochères, les bongos ainsi qu'une avifaune très riche qui devrait être mise en valeur.

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

Parallèlement à notre étude sur les gorilles et en concertation avec les gestionnaires du parc, nous avons formé les assistants congolais qui nous accompagnaient à l'acquisition de données sur la fréquentation des salines par les autres espèces de mammifères. L'analyse de ces données a constitué un ensemble d'informations cruciales pour l'organisation d'un tourisme de vision (taux de fréquentation des salines par chaque espèce, les périodes de l'année les plus favorables pour les observations, les meilleurs moments de la journée en fonction des périodes de l'année etc...).

Formation de 4 auxiliaires de recherche à la prise de données sur la composition des groupes de gorilles, à l'identification des gorilles, à la connaissance de leur biologie et de leur vie sociale, au suivi des événements démographiques, à l'analyse de la fréquentation des clairières par les animaux, au pistage des gorilles et aux prélèvements d'échantillons de fèces pour les analyses génétiques. Le but était entre autres de leur apporter des connaissances qu'ils pourraient mettre à profit, soit lors des missions de circuits monitoring en forêt planifiées par les gestionnaires du Parc, soit en tant que guides lors de visites pour les touristes organisées par le parc ou en association avec les villageois.

Face à des problèmes de présence d'inhibiteurs de PCRs lors des amplifications d'ADN nous avons été amenés à développer notre méthode d'extraction d'ADN. Nous obtenons désormais une bonne conservation des extraits dans la durée, ce qui posait parfois problème avec les kits Qiagen.

La méthode mise au point pour les analyses de séquences MHC est un bon atout pour estimer le niveau de défenses immunitaires des populations face aux maladies. Une cartographie de la diversité des MHC serait un bon atout de gestion, couplé à des recensements à travers le parc et à des analyses de parasitologie.

Nous avons présenté nos travaux lors d'un séminaire auprès des autorités concernées par la conservation, la gestion des parcs, le développement du tourisme de vision, la formation universitaire. Au total 20 personnes (Ministères, Gestionnaires de Parcs, Universitaires). Les objectifs étaient de diffuser les connaissances acquises sur la dynamique des populations de gorilles, sur la fragilité de ces populations au regard des épidémies d'Ebola, sur la nécessité de veiller à ce que d'autres menaces (braconnage par exemple) ne se surimposent pas aux effets Ebola, de sensibiliser ces instances à la nécessité d'assurer un suivi de la dynamique de ces populations et de l'intérêt que représentaient les résultats acquis en termes de gestion et de développement pour les régions concernées par la présence des gorilles.

Nous assurons la formation d'un étudiant congolais en thèse, Monsieur Elvis Rodrigue Gabikiny Gambou. Co-encadrement avec le Prof. Arsène Lenga Univ. Brazzaville. Sujet : « Relations entre la fréquentation des salines par les gorilles et les variations des disponibilités en fruits dans la forêt avoisinante ». Travail en cours.

M. Bermejo s'est investie dans la formation de pisteurs de haut niveau. Chaque personne formée est bien entendu sensibilisée aux risques liés aux épidémies Ebola et connaît les comportements adaptés en cas de suspicions d'épidémie (signaler au camp central la présence et la position GPS de toute carcasse de grand singe sans approcher, l'odeur en est en général le signal etc...).

Le Parc d'Odzala a souhaité mettre en place une bibliothèque informatisée sur site. En raison des changements au cours des différents programmes ECOFAC de l'UE, cette bibliothèque était très incomplète. Nous avons complété la documentation existante par tout document à notre disposition (rapports, thèses, publication etc...) qui concernaient le Parc.

Dans le cas d'un suivi démographique d'une population de gorilles, nous nous plaçons obligatoirement à un niveau individuel. Nous avons donc mis en place une banque de données

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

de photos identifications aisément utilisables par les agents du parc et permettant un suivi des populations étudiées. Ces documents sont par ailleurs utilisés par les gestionnaires lors de présentation des objectifs et travaux du parc auprès des différentes instances.

*Les gorilles : un maillon dans le cycle du virus Ebola en forêt tropicale.  
du réservoir à l'homme, mécanismes et conséquences de la maladie ?*

### III. LISTE DES PRINCIPALES VALORISATIONS DES RECHERCHES

- Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation.

**Le Gouar, P., Vallet D., David, L., Bermejo, M., Gatti, S. Levréro, F., Petit, E., Ménard N.** (2009) How Ebola Impacts Genetics of Western Lowland Gorilla Populations. *PlosOne*. 4(12)E, 8375 1-12.

**Vallet D., Petit E., Gatti S., Levréro F., Ménard N.** (2008). A new 2CTAB/PCI method improves DNA amplification success from faeces of Mediterranean (Barbary macaques) and tropical (lowland gorillas) primates. *Conserv. Genet.*, 9:677-680.

**Genton C., Bermejo M., Pierre J-S, Le Gouar P., Ménard, N.** Gorilla population dynamics after an Ebola outbreak. *En preparation*.

**Genton C., Pierre J-S, Le Gouar P., Ménard, N.** Modelling the recovery capacity of gorilla populations after a demographic crash due to an Ebola outbreak. *En preparation*.

**Bermejo M., Rodriguez DJ., Bonet, V. Farrés, R.** Ecological conditions of gorilla populations and Ebola outbreaks. *En preparation*.

**Le Gouar P., Ménard N., Vallet D., Knapp L.** A new method for MHC study with non invasive DNA sampling. *En preparation*.

- Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation.

**Ménard N.** (2009) « Les gorilles vont-ils disparaître? » *Pour la Science* : 384 : 18-19.

**Ménard N.** (2010). Quel avenir pour les populations de gorilles d'Odzala ? *Canopée*. (sous presse).

- Participations aux colloques nationaux ou internationaux (communication orale et poster).

**Le Gouar, P., David, L., Bermejo, M., Gatti, S. Levréro, F., Vallet D., Petit, E., Ménard N.** (2008). Impacts of Ebola on genetic diversity and structure of western lowland gorilla populations in the Republic of Congo. Communication orale au *XXII Congrès International de Primatologie*. Edinburgh 3-8 août.

**Le Gouar, P., David, L., Bermejo, M., Gatti, S. Levréro, F., Vallet D., Petit, E., Ménard N.** (2008). Impact des épidémies à virus Ebola sur la diversité et la structure génétique des populations de gorilles de plaine de l'Ouest en république du Congo. Communication orale à la *30ème Réunion du Groupe de Biologie et Génétique des Populations*. Rennes 25-28 août 2008.

**Genton C., Gatti S., Levréro F., Cristescu R., Bigot E., Pierre J-S, Ménard N.** (2010). Gorilla population dynamics after an Ebola outbreak. Communication orale au *XXIII Congrès International de Primatologie*. Kyoto 12-18 septembre

- Rapports de fin d'étude (mémoires de master, de DEA, thèses...).

**Céline Genton** : Capacités de récupération et variabilité génétique de populations de gorilles de plaine de l'Ouest après un crash démographique. *Thèse d'Université, Rennes I.* (soutenance 2011). Encadrement N. Ménard & J-S Pierre.

**Audrey Lavandier** : Caractéristiques démographiques des populations de gorilles visiteuses des salines de Lokoué et Romani (Parc d'Odzala, république du Congo). *Rapport de stage, Univ. Montpellier.*

## **RESUMES**

### **En français**

---

#### **RESUME**

*½ à 1 page*

Les populations de gorilles du Nord de la république du Congo (Parc national d'Odzala\_Kokoua et Sanctuaire de Lossi) ont subi des épisodes épidémiques à virus Ebola entre 2002 et 2004. Les objectifs de ce projet étaient de préciser 1) les conditions écologiques de la diffusion de la maladie dans les populations de gorilles, 2) l'impact du passage de la maladie sur la démographie et la dynamique des populations et leurs capacités de récupérations, 3) les conséquences sur la diversité et la distribution des gènes dans ces populations. Les analyses écologiques comparées entre secteurs touchés ou non par l'épidémie ont montré que la distribution spatio-temporelle des disponibilités en fruits est un facteur explicatif pertinent des émergences des épidémies Ebola et conforte l'hypothèse d'une transmission entre Mégachiroptères et gorilles. La signature démographique du passage des épidémies Ebola dans les populations est encore détectable 4 à 7 ans après selon les populations. Les principaux effets sont une densité et des effectifs réduits qui stagnent encore plusieurs années après, une proportion anormale de mâles solitaires, une taille moyenne des groupes reproducteurs deux fois moins grande que dans des populations saines. Néanmoins, on note une lente restauration des populations affectées, avec formations de nouveaux groupes reproducteurs et reprise des natalités. L'impact des épidémies est spatialement hétérogène dans la population à l'échelle régionale, conduisant à une certaine fragmentation. Nous mettons en évidence une forte instabilité de la composition des populations de forêts avec clairières incluses, ce qui diffère de la stabilité connue dans des populations saines de forêts plus continues sans clairières. Cette instabilité peut être liée soit à la fragmentation induite par Ebola, soit aux caractéristiques propres aux forêts avec clairières qui implique le partage des clairières par de nombreux groupes potentiellement en compétition, soit les deux. Les analyses génétiques montrent que malgré une baisse importante de la taille efficace des populations affectées par Ebola, on ne note pas de perte de diversité génétique ni d'augmentation de la consanguinité à court terme. On note par contre un changement de la structure génétique qui s'explique par la mortalité différentielle induite par Ebola dans les populations, qui touche préférentiellement les individus qui vivent en groupe sociaux (femelles et immatures) et préservent relativement mieux les mâles solitaires. Une deuxième hypothèse est la sélection exercée par le virus. En effet, un locus lié à un gène impliqué dans la coagulation présente des changements de fréquences alléliques après Ebola, ce qui permet de mettre en évidence une signature génétique de pression de sélection.

#### **MOTS CLES**

Zoonoses, Ebola, gorilles, conditions écologiques, dynamique des populations, génétique des populations

**In English**

---

**ABSTRACT**

*1/2-1 page*

The populations of gorillas in the northern part of the Republic of Congo (Odzala\_Kokoua National Park and Lossi Sanctuary) experienced episodes of Ebola outbreaks between 2002 and 2004. The goals of this project were to specify 1) the ecological conditions of the spread of disease in populations of gorillas, 2) the impact of the Ebola outbreaks on the demography and dynamics of the affected populations and the recovering capacities of these populations, 3) the consequences of Ebola outbreaks on the diversity and distribution of genes in these populations. Comparative ecological analyses between sectors affected or not by the epidemic have shown that the spatiotemporal distribution of fruit availability is a relevant factor to explain the emergence of Ebola epidemics, which supports the hypothesis of transmission between Megachiroptera and gorillas. The demographic signature of the passage of Ebola epidemics in populations is still detectable 4-7 years after. The main effects are very low density and population size for several more years after outbreak, an abnormal proportion of solitary males, and an average size of breeding groups twice less than in healthy populations. However, there was a slow restoration of the affected population, with formation of new breeding groups and recovery in birth rate. The impact of epidemics in the population is spatially heterogeneous at the regional level, leading to some fragmentation. We reveal a strong instability of the composition of populations inhabiting forests that included clearings, which differs from the known stability in healthy populations inhabiting forest without clearings. This instability can be linked either to the fragmentation caused by Ebola or to the characteristics of forests with clearings which involve the sharing of clearings by many groups potentially in competition, or both. Genetic analysis shows that despite a significant decrease in the effective size of populations affected by Ebola, there is no noticeable loss of genetic diversity or increase in inbreeding in the short term. We note a change in genetic structure that is explained by differential mortality induced by Ebola in populations, that preferentially affects individuals who live in social groups (females and immature) comparing to solitary males. A second hypothesis is the selection exerted by the virus. Indeed, a locus, linked to a gene involved in coagulation, changes in allele frequencies after Ebola, thereby highlighting a genetic signature of selection pressure.

**KEY WORDS**

Zoonoses, Ebola, gorillas, ecological conditions, populations dynamics, populations genetics.