





# 3

## Etat actuel de la biodiversité en Afrique de l'Ouest

### Current state of biodiversity in West Africa

La végétation de l'Afrique de l'Ouest a été établie en parfaite concordance avec les différentes zones climatiques. Les différentes zones de végétation forment des bandes presque parallèles allant de la zone côtière Guinéenne à pluviométrie élevée et bien répartie sur toute l'année aux zones de végétation plus sèches que sont les steppes du Sahel et le désert du Sahara au Nord.

Ce chapitre présente les différents types de végétation rencontrée dans toute la zone d'étude et analyse le phénomène de la fragmentation des forêts denses et ses conséquences sur la biodiversité. L'utilité et l'importance de la télédétection satellitaire dans l'étude des processus de changements de la couverture terrestre et les raisons de ces changements sont abordées en se basant sur une étude de cas effectué au Burkina Faso. Enfin, concernant la faune, l'accent a été mis sur deux grands groupes d'animaux que sont les amphibiens et les chauves-souris. La diversité spécifique, le rôle écologique, la distribution, les menaces et le statut actuel de conservation selon les critères de l'UICN sont examinés.

West African vegetation largely reflects the basic climatic zones of the region. The different vegetation zones run in roughly parallel bands from the southern Guinean coast with high and well distributed rainfall throughout the year to zones of drier vegetation, the steppes in the Sahel and the Sahara desert in the North. This chapter presents the different vegetation types of the whole region and analyses the phenomena of fragmentation of rain forest and its consequences for biodiversity. The utility and importance of satellite remote sensing in assessing the processes of land cover changes and the cause underlying those changes in West Africa is also analysed with a case study from Burkina Faso. Finally, emphasize is made on two important groups of wildlife: amphibians and bats. The species diversity, ecological role, distribution, threats and the current status of some species are reviewed with respect to IUCN Red List.

**Fig. 3.0:** *Myotis bocagii*, Burkina Faso. JFA

# 3.1

## La végétation de l'Afrique de l'Ouest

Karen HAHN-HADJALI  
Rüdiger WITTIG  
Marco SCHMIDT  
Georg ZIZKA  
Adjima THIOMBIANO  
Brice SINSIN

La végétation de l'Afrique de l'Ouest se présente de manière plutôt uniforme par rapport à d'autres parties de l'Afrique tropicale. En raison de sa topographie de basse altitude, les zones de végétation reflètent essentiellement les zones climatiques. Ceci donne naissance à une série de zones de végétation formant des bandes pratiquement parallèles qui s'étendent de la côte sud guinéenne, où les précipitations sont élevées et bien distribuées tout au long de l'année, en passant par des zones à la végétation toujours plus sèche, jusqu'aux confins du désert du Sahara plus au nord.

Il existe plusieurs approches fondées sur des paramètres climatiques et/ou **phytogéographiques**<sup>7</sup> pour délimiter et décrire ces zones de végétation. Nous suivons le classement le plus appliqué et accepté, proposé par White [1], qui englobe le continent tout entier. Sa délimitation des zones de végétation est essentiellement fondée sur les modèles de distribution des espèces et elle distingue

des centres régionaux d'**endémisme**<sup>7</sup> (où >50 % de la **flore**<sup>7</sup> est endémique), qui sont intercalés par des zones de transition. Chaque zone de végétation comprend plusieurs types de végétation principaux qui se distinguent par leur physiognomonie (forêt, brousse, prairie, etc).

### QUATRE ZONES DE VEGETATION

La Côte d'Ivoire, le Burkina Faso et le Bénin comprennent quatre zones de végétation (Fig. 3.1), dont deux sont des centres régionaux d'endémisme et les deux autres des zones régionales de transition (allant du Sud au Nord) :

- La zone guinéo-congolaise (centre régional d'endémisme)
- La zone guinéo-congolaise/soudanaise (zone régionale de transition)
- La zone soudanaise (centre régional d'endémisme)
- La zone du Sahel (zone régionale de transition)

En Côte d'Ivoire, près de 41 % du pays appartient à la zone guinéo-congolaise, qui correspond à la zone de forêt tropicale où les précipitations annuelles sont les plus élevées. La zone entière héberge quelque 8 000 espèces, dont 80 % sont endémiques.

## Vegetation of West Africa

The vegetation of West Africa presents a simple picture compared to other parts of tropical Africa. Due to its relatively low-lying terrain the zones of vegetation largely reflect the basic climatic zones. This results in a series of vegetation zones running in roughly parallel bands from the southern Guinean coast with high and evenly distributed rainfall throughout the year to zones of increasingly drier vegetation until the Sahara desert is reached in the North.

For the delimitation and description of these vegetation zones various classification approaches exist based on climatic and/or **phytogeographic**<sup>7</sup> parameters. We follow the most applied and accepted vegetation classification of White [1], covering the whole continent. His delimitation of vegetation zones is principally based on patterns of species distributions and distinguishes regional centres of **endemism**<sup>7</sup> (with >50 % of their

**flora**<sup>7</sup> being endemic) and transition zones between them. For each vegetation zone several main vegetation types are recognized, which are characterized by their physiognomy (forest, bushland, grassland, etc).

### FOUR VEGETATION ZONES

The countries Côte d'Ivoire, Burkina Faso and Benin comprise four vegetation zones (Fig. 3.1.), two of them are regional centres of endemism, the other two are regional transition zones (South to North):

- Guineo-Congolian zone (regional centre of endemism)
- Guineo-Congolia/Sudanian zone (regional transition zone)
- Sudanian zone (regional centre of endemism)
- Sahel zone (regional transition zone)

In Côte d'Ivoire about 41 % of the country belongs to the Guineo-Congolian zone, which corresponds to the rain forest zone with highest amounts of annual rainfall. In the entire zone about 8 000 species occur, of which 80 % are endemic. North to this zone follows the Guineo-Congolian/Sudanian zone with around 2 000 species. This transition zone is

Au nord de cette zone se trouve la zone guinéo-congolaise/soudanaise, qui héberge environ 2 000 espèces. Cette zone de transition se caractérise par des types de forêts tropicales plus arides et une mosaïque de forêts tropicales humides de basse altitude et de prairies secondaires, en raison de l'action humaine. Dans le « **Dahomey Gap** », la zone s'étend jusqu'à la côte et sépare les deux blocs de forêt tropicale humide africaine.

Le nord de la Côte d'Ivoire ainsi qu'une grande partie du Burkina Faso (91 %) et du Bénin (87 %) appartiennent à la zone soudanaise, qui comprend une large bande de l'Afrique de l'Ouest, où se reproduisent quelques 2 750 espèces. Environ un tiers sont des espèces endémiques. La végétation dominante de cette zone est constituée par des forêts claires et des savanes, les dernières se constituent d'une dense couverture uniforme de hautes graminées avec une densité variable d'arbres et d'arbustes assez épars. À part quelques forêts marécageuses et **ripicoles**, il n'existe pour ainsi dire pas de vraie forêt dense. Cependant, la question de savoir si les forêts sèches constituaient la végétation d'origine sur de vastes territoires avant le développement intensif de l'Afrique de l'Ouest fait toujours débat. Dans la plupart des territoires cultivables, la végétation d'origine a été profondément modifiée et remplacée par une mosaïque

characterized by drier types of rain forests and a mosaic of lowland rain forests and secondary grasslands, due to extensive human impact. In the "Dahomey Gap", this zone reaches the coast and separates the two blocks of African rain forest. The North of Côte d'Ivoire and the main parts of Burkina Faso (91 %) and Benin (87 %) belong to the Sudanian zone, which covers a large band in West Africa, where about 2 750 species occur. About one third of them are endemic. The dominant vegetation of this zone consists of woodlands and savannas with a dense continuous cover of tall grasses and varying densities of scattered trees and shrubs. Apart from a small amount of swamp and riparian forests there is virtually no true dense forest. However, it is still under discussion whether dry forests were the original vegetation over extensive areas before West Africa became densely inhabited by humans. In most places where cultivation is possible, the original vegetation has been profoundly modified and is replaced by mosaics of fields and fallows. The latter are savannas and woodlands in various stages of regeneration following a period of cultivation.

The Sahel zone with only about 1200 species occurs in the driest areas in the northern part of Burkina Faso (9 % of the

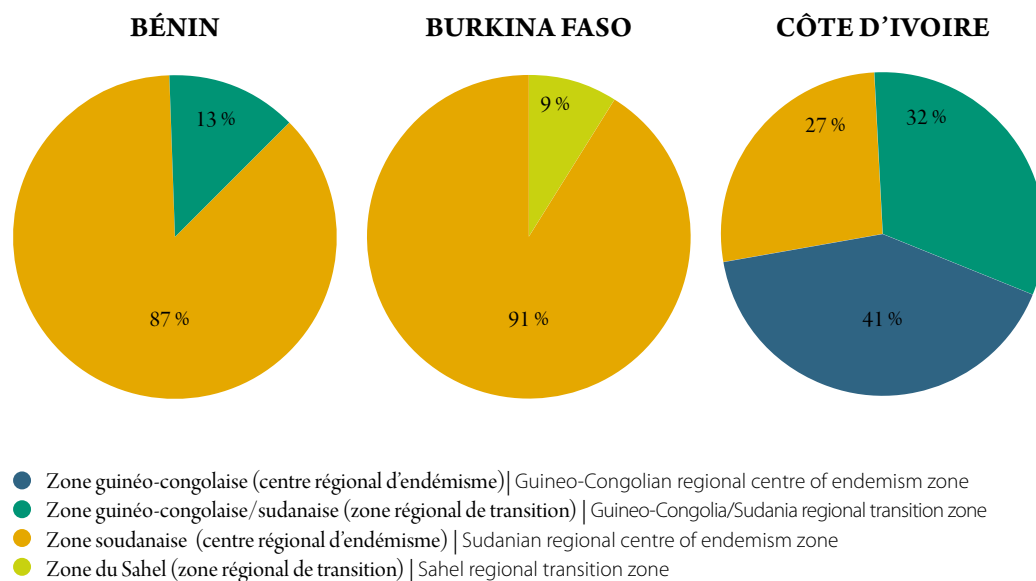
de champs et de jachères. Ces dernières sont des savanes et des forêts claires traversant diverses étapes de régénération après à une période de culture.

La zone du Sahel, avec 1 200 espèces, se situe dans la partie plus aride au nord du Burkina Faso (9 % du pays), où la moyenne des précipitations annuelles varie entre 250-500 mm. La saison des pluies ne dure que deux à quatre mois. Sous des conditions si sévères, la végétation est principalement constituée de formations herbeuses boisées et de formations buissonnante **décidues**. La couverture herbeuse de ces types de végétation est généralement de petite taille (< 80 cm de hauteur) et plutôt rare, tandis que les espèces ligneuses, au feuillage fins et épineuses dominant. En raison de ses épines aiguës, cette formation végétale reçoit le nom de végétation aux arbustes d'épineuses.

## LES TYPES DE VEGETATION SELECTIONNEES

### La Mangrove

Les mangroves (voir la carte 3.1, type de végétation 15, Fig. 3.2) sont dominées par des arbres ou des arbustes se développant sur des rives à balancement fréquents de marées d'eau de mer. Les espèces propres des mangroves sont adaptées à ces conditions de vie



**Fig. 3.1:** Zones de végétation des pays de BIOTA West. | Vegetation zones in the target countries of BIOTA West.

particulières grâce à leurs pneumatophores, des “racines aériennes”, qui sont exposées pendant la marée basse et/ou sont (presque) vivipares. Cela veut dire que les plantes produisent des semences qui germineront avant de se détacher de la plante mère. Le feuillage des espèces évoluant dans les mangroves est épais et semblable au cuir. Les espèces typiques de Afrique de l’Ouest sont *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia germinans* et *Laguncularia racemosa*. La mangrove de l’Afrique de l’Ouest est plutôt pauvre en variétés d’espèces de plantes mais elle joue un rôle important pour la faune<sup>7</sup> marine.

### La forêt marécageuse

Les forêts marécageuses (voir la carte 3.1, type de végétation 14, Fig. 3.6) se développent notamment dans la zone guinéo-congolaise sur des terrains aux conditions appropriées, c’est-à-dire sur une grande dépression où s’accumule l’eau. Elles hébergent une flore endémique variée. Les arbres les plus typiques comprennent *Berlinia auriculata*, *Carapa procera*, *Diospyros longiflora*, *Mitragyna ciliata*, *Uapaca guineensis*. Sous sa forme la plus luxuriante, la forêt marécageuse guinéo-congolaise ressemble beaucoup à la forêt tropicale. Néanmoins, la couverture principale est irrégulière et plutôt éparse,

country), where the annual average rainfall is about 250-500 mm. The rainy season lasts only two to four months. Under these arid conditions the vegetation consists mainly of wooded grasslands and **deciduous**<sup>7</sup> bushlands. The grass cover of these vegetation types is generally low (< 80 cm height) and scarce, woody species with small and narrow leaves and thorns are dominant. Due to their sharp thorns this formation is often named thorn scrub vegetation.

### SELECTED VEGETATION TYPES

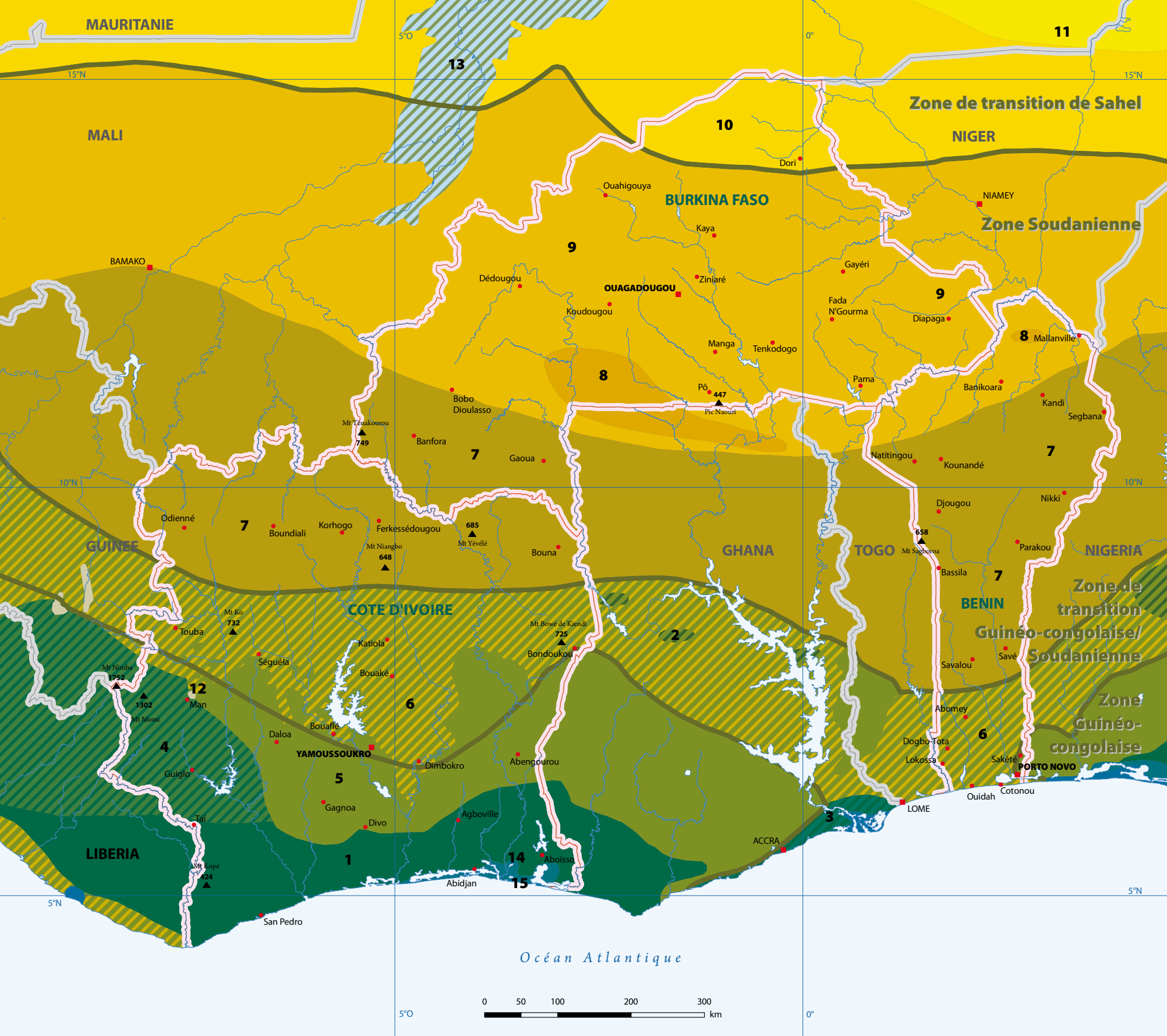
#### Mangrove

Mangroves (refer to map 3.1, vegetation type 15, Fig. 3.2) are dominated by trees or bushes occurring on shores periodically flooded by sea-water. True mangrove species (= *Rhizophora*) are adapted to these special living conditions by having pneumatophores, “breathing roots”, which are exposed at low tide and/or are (almost) viviparous. That means that the plants produce seeds which germinate before becoming detached from the parent plant. The leaves of mangrove species are thick and leathery. Typical species in West African Mangroves are *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia germinans* and

### Types de végétation

Forêt ombrophile planitiaire: types relativement humides	<b>1</b>	Lowland rain forest: wetter types
Mosaïque de forêt ombrophile planitiaire et de forêt claire à <i>Isberlinia</i> et de formation herbeuse secondaire	<b>2</b>	Mosaic of lowland rain forest, <i>Isberlinia</i> woodland and secondary grassland
Mosaïque côtière ouest-africaine	<b>3</b>	West African coastal mosaic
Mosaïque de forêt ombrophile planitiaire: types relativement humides et secs	<b>4</b>	Mosaic of Guineo-Congolian wetter and drier rain forests
Forêt ombrophile planitiaire guinéo-congolaise : types relativement secs	<b>5</b>	Guineo-Congolian rain forest: drier types
Mosaïque de forêt ombrophile planitiaire et de formation herbeuse secondaire	<b>6</b>	Mosaic of lowland rain forest and secondary grassland
Forêt claire soudanienne avec abondance d' <i>Isberlinia</i>	<b>7</b>	Sudanian woodland with abundant <i>Isberlinia</i>
Forêt claire soudanienne indifférenciée à îlots d' <i>Isberlinia</i>	<b>8</b>	Sudanian undifferentiated woodland with islands of <i>Isberlinia</i>
Forêt claire soudanienne indifférenciée	<b>9</b>	Sudanian undifferentiated woodland
Formation herbeuse boisée à <i>Acacia</i> et formation buissonnante décidue du Sahel	<b>10</b>	Sahel <i>Acacia</i> wooded grassland and deciduous bushland
Formation herbeuse et arbustive semi-désertiques	<b>11</b>	Semi-desert grassland and shrubland
Forêt de montagne indifférenciée	<b>12</b>	Undifferentiated montane vegetation
Mosaïques de formations herbeuses édaphiques avec une végétation semi-aquatique	<b>13</b>	Edaphic grassland mosaics with semi-aquatic vegetation
Forêt marécageuse	<b>14</b>	Swamp forest
Mangrove	<b>15</b>	Mangrove

### Vegetation types



Carte 3.1: Zones de végétation et types de végétation de l'Afrique de l'Ouest [1, modifié].

Map 3.1: Vegetation zones and vegetation types of West Africa [1, modified].



3.2



3.3



3.4



3.5

## Types de végétation | Vegetation types

**Fig. 3.2:** Mangrove. | Mangrove. KHA

**Fig. 3.3:** Savanes soudanienne. | Sudanian undifferentiated woodland. KHA

**Fig. 3.4:** Forêt claire soudanienne. | Sudanian woodlands. ATH

**Fig. 3.5:** Formation herbeuse boisée sahélienne. | Sahalian wooded grasslands. KHA

en raison de plusieurs éléments perturbateurs, particulièrement celui de l'action humaine. Très souvent, les forêts marécageuses sont dépouillées pour faire place aux rizières.

### Les forêts tropicales humides guinéo-congolaises

Les forêts tropicales humides sont les formations végétales d'Afrique qui hébergent la plus grande diversité d'espèces. Plus de 200 espèces de **plantes vasculaires**<sup>7</sup> ont été répertoriées sur des **parcelles**<sup>7</sup> de 600 m<sup>2</sup> [1]. Les forêts tropicales guinéo-congolaises sont constituées d'un peuplement forestier d'au moins 30 m de hauteur, au tronc fin et à l'écorce lisse. Un grand nombre d'épiphytes et de lianes, comme celles du genre *Agelaea*, *Combretum*, *Salacia* et *Strychnos*, sont aussi très caractéristiques de ces forêts. En fonction des conditions climatiques, on distingue trois types de forêt tropicale humide en l'Afrique de l'Ouest :

- Les types de forêts **sempervirentes**<sup>7</sup> humides sur la zone côtière (carte 3.1, types de végétation 1, Fig. 3.7)
- Les types de forêts tropicales sèches dans les zones périphériques relativement arides (carte 3.1, types de végétation 5)
- La mosaïque de forêts tropicales sèches et humides (carte 3.1, types de végétation 4)

*Laguncularia racemosa*. The West African mangrove is rather poor in plant species but very important for the marine **fauna**<sup>7</sup>.

### Swamp forest

Swamp forests (refer to map 3.1 vegetation type 14) occur particularly in the Guineo-Congolian zone in areas with suitable conditions, i.e. water accumulating in larger depressions. They have a diverse endemic flora. The most characteristic trees include *Berlinia auriculata*, *Carapa procera*, *Diospyros longiflora*, *Mitragyna ciliata*, *Uapaca guineensis*. At its most luxuriant occurrence, Guineo-Congolian swamp forest is similar in appearance to rain forest. The main cover however is irregular and rather open caused by many disturbances, particularly human impact. In many cases the swamp forests are cleared for rice-farming.

### Guineo-Congolian rain forests

Rain forests are the most species rich vegetation formations in Africa. Up to 200 species of **vascular plants**<sup>7</sup> have been recorded on 600 m<sup>2</sup> **plots**<sup>7</sup> [1]. Guineo-Congolian rain forests consist of at least 30 m tall tree stands, where most tree species have slender trunks and smooth bark. A high amount of **epiphytes**<sup>7</sup>

Chaque type de végétation héberge une composition d'espèces spécifiques, bien que la plupart des espèces des forêts tropicales soient amplement répandues. Un trait caractéristique des forêts tropicales côtières sempervirentes est le grand nombre de Caesalpinioideae, comme celles du genre *Soyauxia*, *Berlinia* et *Cynometra*. L'espèce *Lophira alata* (« Azobé »), un arbre pionnier, est la plus abondante. Les forêts des zones périphériques relativement sèches du centre régional d'endémisme guinéo-congolais sont plus marquées et n'accueillent pas beaucoup d'espèces typiques des forêts plus humides. La forêt mixte humide et semi décidue est relativement riche en espèces. Des grands arbres, comme *Entandrophragma angolense*, *E. candollei*, *Parinari glabra*, *Nauclea diderrichii* et *Parkia bicolor*, s'y reproduisent parmi d'autres. En fonction des précipitations et des conditions du sol, ces forêts tropicales humides semi-décidue peuvent à leur tour se subdiviser en plusieurs types différents de forêts.

Une grande partie de la forêt tropicale de la Côte d'Ivoire a été détruite par l'agriculture et les incendies et remplacée par des prairies secondaires. Le Parc National de Taï en Côte d'Ivoire constitue l'une des plus vastes zones protégées de forêt tropicale au nord de la Guinée. La formation herbeuse secondaire se développe souvent

sous la forme d'une mosaïque de parcelles de forêt originaire particulièrement endommagées et de parcelles de fourrés secondaires et de forêts secondaires. La couche herbeuse dépasse souvent les 2 m de hauteur et consiste notamment en espèces du genre *Andropogon*, *Hyparrhenia*, *Panicum* et *Schizachyrium*. Elle comprend généralement un mélange d'arbres de différentes densités résistants au feu ; les principaux arbres sont ceux du genre *Terminalia* et *Combretum*. Les formations herbeuses sont habituellement soumises au brûlis une fois par an, comme la plupart des formations des forêts claires et savanes.

### Les forêts claires et savanes soudanaises

La grande majorité de la zone soudanaise est recouverte par diverses formations des forêts claires et des savanes soudanaises. Selon le critère physiognomique, celles-ci se divisent en forêt claire, savane arborée, savane arbustive et savane herbeuse, des formations végétales qui reflètent clairement la proportion décroissante d'espèces ligneuses. Néanmoins, il n'est pas évident d'identifier les communautés de plantes obéissant à une composition d'espèces caractéristique car la plupart des arbres soudanais ont des échelles géographiques et des tolérances écologiques très amples. De plus, le

and lianas such as those of the genera *Agelaea*, *Combretum*, *Salacia* and *Strychnos*, is also characteristic. According to the climatic conditions rain forest in West Africa can be divided into three different types:

- The wetter **evergreen**<sup>7</sup> forest types in the coastal zone (map 3.1, vegetation type 1, Fig.3.7)
- The drier types of rain forest in the relatively dry peripheral zone (map 3.1, vegetation type 5)
- The mosaic of wetter and drier rain forests (map 3.1, vegetation type 4)

Each vegetation type shows a specific species composition, although the majority of the rain-forest species are widespread. Most typical for coastal evergreen rain forest is a high amount of Caesalpinioideae, e.g. species of the genera *Soyauxia*, *Berlinia* and *Cynometra*. One of the most abundant species is *Lophira alata* ("Azobé") a pioneer tree species. The forests of the relatively dry peripheral parts of the Guineo-Congolian regional centre of endemism are more deciduous, and also lack many typical species of the wetter forests. Mixed moist semi-evergreen forests are relatively species rich. Large trees such as *Entandrophragma*

*angolense*, *E. candollei*, *Parinari glabra*, *Nauclea diderrichii* and *Parkia bicolor* occur among many others. Depending on rainfall and soil conditions these moist semi-deciduous rain forests can be subdivided into a number of different types.

Much of the rain forest of Côte d'Ivoire has been destroyed by cultivation and fire and is replaced by secondary grassland. The Taï National Park in Côte d'Ivoire is the largest protected area of the Upper Guinean rain forest. The secondary grassland often occurs in mosaics with small, severely degraded patches of the original forest, and patches of secondary thicket and secondary forest. The grass layer is often more than 2 m tall and consists of species of the genera *Andropogon*, *Hyparrhenia*, *Panicum* and *Schizachyrium*. It usually contains a mixture of fire-resistant trees in various densities; principal trees are those of the genera *Terminalia* and *Combretum*. The grasslands are usually burned annually, as most of the woodland formations.

### Sudanian woodlands

Most part of the Sudanian zone is covered by Sudanian woodlands in various formations. According to physiognomical criteria they are generally divided into savanna woodlands, tree





**Fig. 3.6:** Forêt marécageuse. | Swamp forest. Lokoli, Benin. KHA

**Fig. 3.7:** Forêt tropicale humide. | Rain forest. SPO



3.6

3.7

relief de l'Afrique de l'Ouest est peu prononcé et le **climat change**<sup>7</sup> graduellement. Cependant, plusieurs espèces présentent des distributions distinctes septentrionale ou méridionale du nord, ce qui fait qu'il est possible de distinguer deux types de zones forestières soudaniennes :

- Les forêts claires plus humides au sud : dominée par *Isoberlinia doka* (carte 3.1, types de végétation 7, Fig. 3.4)
- Les forêts claires plus sèches au nord : un grand nombre d'arbres et d'arbustes Combretaceae, plutôt dépourvues *Isoberlinia doka* (carte 3.1, types de végétation 8, Fig. 3.3)

De nos jours, la terre est cultivée presque partout. La présence de types de végétation forestière dépendra donc de la période à laquelle les champs cultivés avant sont laissés en jachère. Ces périodes de jachère sont nécessaires pour récupérer la fertilité du sol et permettre la repousse. La diminution des périodes de jachère, due notamment à l'absence de terres cultivables, mène à une régénération instable de nombreuses espèces et au déclin de la **biodiversité**<sup>7</sup>. Dans l'agriculture traditionnelle, les arbres revêtant une importante fonction économique comme *Vitellaria paradoxa*, l'arbre du beurre de karité, et *Parkia biglobosa*, le Néré, sont épargnés du dépeuplement,

savannas, shrub savannas and grass savannas reflecting the decreasing proportion of woody species. However, the recognition of distinct plant communities with a characteristic species composition is difficult, as most Sudanian trees have very wide geographical ranges and ecological tolerances. Moreover, the relief of West Africa is little pronounced and the **climate changes**<sup>7</sup> gradually. Several species, however, show a distinct northern or southern occurrence in West Africa and therefore the Sudanian woodlands can be divided into two types:

- The wetter woodlands in the South: dominated by *Isoberlinia doka* (map 3.1, vegetation type 7, Fig. 3.4)
- The drier northern woodlands: high amount of Combretaceae trees and shrubs generally lacking *Isoberlinia doka* (map 3.1, vegetation type 8, Fig. 3.3)

Today nearly everywhere the land is heavily cultivated. The occurrence of woodland vegetation types hence depends on the period formerly cultivated fields are left as fallows. These fallow periods are necessary for the restoration of soil fertility and the recovery and re-growth of vegetation. Shortening of fallow periods due to land shortage leads to disturbed regeneration of

ce qui donne lieu à un nouveau type de savane fortement arborée, appelé aussi « parcs agro forestiers de la savane » .

### Les formations herbeuses boisées sahéliennes

Les formations herbeuses boisées du Sahel (carte 3.1, types de végétation 10, Fig. 3.5) constituent le type de végétation la plus répandue sur les sols sablonneux de la zone de transition régionale sahélienne. La densité des grandes plantes ligneuses varie énormément, notamment en fonction de l'approvisionnement en eau et de l'ampleur de l'intervention humaine. Généralement, les arbres et les arbustes sont de petite taille (moins de 8 m) et librement épars sur la couche herbeuse. Les plus courantes sont les espèces épineuses d'*Acacia*, telles que *A. tortilis* var. *raddiana*, *A. laeta*, et d'autres arbustes épineux comme *Commiphora africana*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* et *Ziziphus mauritiana*. La couche herbeuse est plus ou moins régulière et ne dépasse pas les 80 cm de hauteur. Elle est essentiellement constituée d'espèces annuelles, comme *Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis* et le genre *Aristida*. Dans les zones fortement pâturées, les graminées sont remplacées par des mauvaises herbes telles que *Boerhavia coccinea* et *Tribulus terrestris*.

En raison de plusieurs périodes d'inondations sévères au cours de

many species and a decline of **biodiversity**<sup>7</sup>. In traditional agriculture, economically important trees like *Vitellaria paradoxa*, the shea-butter tree, and *Parkia bioglobosa*, the locust bean tree, are spared from clearing, thus creating a special type of tree dominated savanna, called "parkland savanna".

### Sahelian wooded grasslands

The Sahelian wooded grassland (map 3.1, vegetation type 10, Fig. 3.5) is the most widespread vegetation type on sandy soils in the Sahelian regional transition zone. The density of the larger woody plants varies greatly, especially in relation to water supply and the amount of human interference. Generally the trees and shrubs are small (below 8 m) and scattered loosely in the grass layer. Most frequent are thorny *Acacia* species, such as *A. tortilis* var. *raddiana*, *A. laeta*, and other thorny shrubs like *Commiphora africana*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* and *Ziziphus mauritiana*. The grass layer is more or less continuous and lower than 80 cm. It consists mostly of annual species, i.e. *Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis* and *Aristida* species. In heavily grazed areas the grasses are replaced by annual weeds such as *Boerhavia coccinea* and *Tribulus terrestris*.

ces dernières décennies et à cause de l'action humaine croissante, et plus particulièrement de la pâture, la végétation du Sahel est soumise à de sévères changements. Dans de nombreuses zones, les espèces ligneuses sont en diminution à cause de la régénération harsardeuse et les mauvaises herbes remplacent souvent les graminées fourragères. Au cours des prochaines années, le **changement climatique**<sup>7</sup> annoncé pourrait avoir des conséquences sévères, surtout dans cette région.

Due to several severe drought periods in the last decades and increasing human impact, particularly grazing, severe vegetation changes are occurring in the Sahel. In many areas woody species are decreasing, due to disturbed regeneration and fodder grasses are replaced by annual weeds. In the upcoming years, the anticipated climate change is expected to show severe consequences especially in this region.

# 3.2

## *Fragmentation de la forêt tropicale humide – Biodiversité en danger*

Martin WEGMANN  
Miriam MACHWITZ  
Michael SCHMIDT  
Stefan DECH

Les zones vierges et inaltérées sont importantes pour la rémanence de la **biodiversité**<sup>7</sup> et par conséquent pour un grand nombre de services écosystémiques. Cependant, de nombreuses zones étendues, comme les forêts tropicales, ont été fragmentées à cause de l'action humaine, notamment de l'exploitation forestière. La perte et la fragmentation de l'**habitat**<sup>7</sup>, la segmentation de zones autrefois étendues en habitats plus réduits, encouragent la migration des espèces, ce qui à long terme mènera à une diminution de la diversité génétique intra-populations. Ceci conduira inévitablement au déclin et à une perte potentielle de la biodiversité (Fig. 3.8 et 3.9).

Plusieurs questions importantes se posent :

- Le maintien d'habitats de petite ou de grande taille est-il favorable à certaines espèces pour garder une population viable ?
- Dans quelle mesure une espèce peut-elle s'adapter en l'absence

## *Fragmentation of rain forest – endangering biodiversity*

Pristine and undisturbed areas are important for the persistence of **biodiversity**<sup>7</sup> and hence for many **ecosystem**<sup>7</sup> services. However, many of these large continuous areas like tropical rain forest have been fragmented due to human impact such as logging. The loss and **fragmentation of habitats**<sup>7</sup>, the split up of formerly continuous areas into smaller fragments, will constrain species migration, which in the long run will result in less genetic diversity within populations. This will ultimately result in a decline and a potential loss of biodiversity (Fig. 3.8 and 3.9). Several important questions arise:

- Is a large or are several small habitat patch better for certain species to maintain a viable population?
- How does the suitability for a species change if there are no surrounding patches anymore and the **connectivity**<sup>7</sup> between patches decreases?

d'îlots d'habitats spécifiques favorables à sa survie et quelles sont les conséquences d'une absence de **connectivité**<sup>7</sup> entre îlots forestiers ?

Ces questions urgentes sont très pertinentes à l'heure actuelle où le **changement climatique**<sup>7</sup> et la conversion de la végétation naturelle en terres agricoles ou urbaines constituent la plus importante menace pour la biodiversité. La perte d'habitat a atteint des proportions inquiétantes et il devient impérieux d'analyser les effets de ces changements. La migration des espèces, la perte de biodiversité ou les changements hydrologiques sont influencés par ces transformations.

### **MIGRATION ET FRAGMENTATION**

Le changement climatique va contraindre les espèces à modifier leurs aires de distribution puisque les conditions appropriées pour la subsistance d'une population se trouveront ailleurs. Les espèces mobiles pourraient se déplacer vers ces « nouvelles » zones. Cependant, la migration est entravée par l'apparition de barrières, notamment la fragmentation du paysage : les rues ou les zones urbaines peuvent constituer des zones impénétrables pour certaines

These pressing questions are very pertinent in a century where **climate change**<sup>7</sup> and transformation of natural vegetation to agriculture or urban areas is the most serious threat to biodiversity. Habitat loss has reached tremendous rates, and it becomes important to analyze the effects of these changes. Species migration, biodiversity loss or changes in hydrology are influenced by these transformations.

### **MIGRATION AND FRAGMENTATION**

Climate change will force species to shift their distributional range, because suitable conditions to sustain a viable population will exist somewhere else. Mobile species could move towards these 'new' areas. However the migration is restrained by barriers erected for instance by fragmentation of the landscape: streets or urban areas can form an impervious area for certain species, hence their migration is inhibited. This might hamper the allocation of resources or the possibility to breed successfully.

Analyzing the effect of changes in spatial patterns of forest on migration and generally on ecosystems will provide further insights if and how spatial attributes are able to make up for the

espèces et donc inhiber leur migration. Cela pourrait entraver l'allocation des ressources ou la reproduction des espèces concernées. L'analyse de l'effet des changements à partir de modèles spatiaux de forêt sur la migration et, de manière générale, sur l'**écosystème**<sup>7</sup>, apportera de nouvelles informations sur les possibilités et la façon dont les attributs spatiaux peuvent remplacer les conséquences de la perte d'habitat ou de changement climatique.

Dans le cadre du **projet BIOTA**<sup>7</sup>, nous avons mis au point et appliqué des indices fondés sur des données obtenues à partir d'images satellite de la couverture **terrestre**<sup>7</sup>. En utilisant la couverture terrestre nous examinons les modèles spatiaux pour décrire la couverture forestière en Afrique de l'Ouest, notamment la connectivité entre les îlots. Cette analyse nous a permis de distinguer des îlots forestiers aux attributs spatiaux variables, indépendamment de leur taille ou de la couverture globale de la classe de couverture terrestre.

### LA FORET TROPICALE HUMIDE

La forêt tropicale humide en Afrique de l'Ouest est un «hotspot» de biodiversité. Ces forêts sont considérées dans le monde entier comme l'une des plus importantes zones où vivent des espèces rares. Cependant, ces zones sont sous une menace croissante en

effects of habitat loss or climate change.

Within the **BIOTA Project**<sup>7</sup> we developed and applied indices based on land cover data mapped from satellite images. Using the land cover we analyzed spatial patterns to describe the forest cover in West Africa, especially patch connectivity. This analysis made it possible to differentiate patches of varying spatial attributes independently from their size or the overall coverage of the land cover class.

### RAIN FOREST

The rain forest in West Africa is a hotspot of biodiversity. These forests are regarded worldwide as one of the most important regions where rare species exist. But these areas are increasingly threatened by logging activities and land conversion towards agriculture. This can eventually lead to a total loss of important species and thus, for instance, to a loss of plants used as medicine by the local population.

In the past the rain forest ecosystem has already been altered dramatically. Analyzing the changes of how fast and where the rain forest cover has decreased is very important for biodiversity related questions. Moreover further information like the shape

raison de l'exploitation forestière et de la conversion en terres agricoles. Ceci pourrait mener à la perte totale des espèces importantes mais aussi à la perte de plantes médicinales utilisées par la population locale, entre autres.

L'écosystème de la forêt tropicale humide a déjà été drastiquement modifié dans le passé. Afin de pouvoir répondre aux questions touchant la biodiversité, il est important d'analyser les changements en ce qui concerne les endroits et la vitesse à laquelle la forêt tropicale humide diminue. De plus, toute information supplémentaire, comme la forme et la distance entre les **parcelles**<sup>7</sup> de forêt, c'est-à-dire la connectivité, est importante pour expliquer les récents modèles de biodiversité.

Dans cette étude, nous avons analysé les effets de la déforestation sur la forêt tropicale humide en Afrique de l'Ouest, et donc la fragmentation des vestiges de cette forêt. Pour aborder cette question il nous fallait tout d'abord connaître la couverture potentielle mais aussi la couverture réelle des forêts tropicales humides. La couverture potentielle des forêts tropicales humides correspond à l'étendue de la forêt sans l'intervention de l'homme, tandis que la couverture réelle correspond à l'étendue de la forêt tropicale humide après l'action **anthropique**<sup>7</sup>. Dans une deuxième étape, nous avons

or the distance between forest fragments, also called connectivity, is important in explaining recent biodiversity patterns.

In this study we investigated how the rain forest in West Africa is affected by deforestation events and hence the fragmentation of its remnants. To address this issue we first needed the potential as well as the actual cover of rain forests. The potential cover of rain forest is the extent of forest as it would be without human influence, while the actual cover is the rain forest extent after human impact. In a second step we calculated indices describing the spatial arrangement of fragments, e.g. their size, shape or distance to neighboring fragments. This information, together with zoological and **botanical**<sup>7</sup> data, can then be used to determine parameters influencing biodiversity patterns.

### POTENTIAL RAIN FOREST COVER

The knowledge about the potential extent of rain forest is difficult to retrieve. It ought to be the extent solely based on **abiotic factors**<sup>7</sup> without any human influence like logging etc.. We used environmental information like precipitation, and elevation to predict the potential extent of forest in West Africa. This

calculé les indices décrivant la disposition spatiale des îlots forestiers, par exemple leur taille, leur forme ou la distance par rapport aux îlots voisins. Ces informations, accompagnées de données zoologiques et **botaniques**<sup>7</sup>, seront utilisées pour définir les paramètres qui influencent les modèles de biodiversité.

### LA COUVERTURE POTENTIELLE

Il n'est pas évident de connaître l'étendue potentielle de la forêt tropicale humide. Il s'agirait de l'étendue fondée uniquement sur des **facteurs abiotiques**<sup>7</sup> sans aucune interférence humaine, comme l'exploitation forestière, etc. Nous avons utilisé des informations environnementales, telles que les précipitations et l'élévation afin de déduire l'étendue potentielle de la forêt en Afrique de l'Ouest. Pour cela, nous avons appliqué les soi-disant modèles de prévision spatiale. Dans la carte 3.2, il est évident que plusieurs pays ont un potentiel de couverture de forêt tropicale soit total, soit partiel. Ceci était probablement le cas il y a quelques siècles. L'image est tout autre si nous observons la représentation de la couverture réelle (Carte 3.2).

was achieved by applying so called spatial prediction models. In map 3.2 it becomes apparent that various countries are potentially fully or partly covered with rain forest. This was probably the case a few centuries ago. Looking at the actual cover shows a different picture (Map 3.2).

### ACTUAL RAIN FOREST COVER

Retrieving information about the actual extent of rain forest in West Africa can be done with field surveys, however it is challenging and expensive to map larger areas. Therefore we used satellite imagery of the last few years to map the actual rain forest in West Africa (Map 3.2). There are still some rain forest remnants left in Côte d'Ivoire, Liberia and Ghana. In Ghana they are smaller and isolated while in the Côte d'Ivoire for example they consist of one large patch and a few small ones. The largest continuous and undisturbed rain forest fragment is the Taï National Park (Côte d'Ivoire). Compared to the potential cover of rain forest, only less than 20 % of the original rain forest is still left. Beside the total habitat loss, also the size of single remnant patches of rain forest, their reduced connectivity and the unsuitable environmental conditions surrounding these rain forest

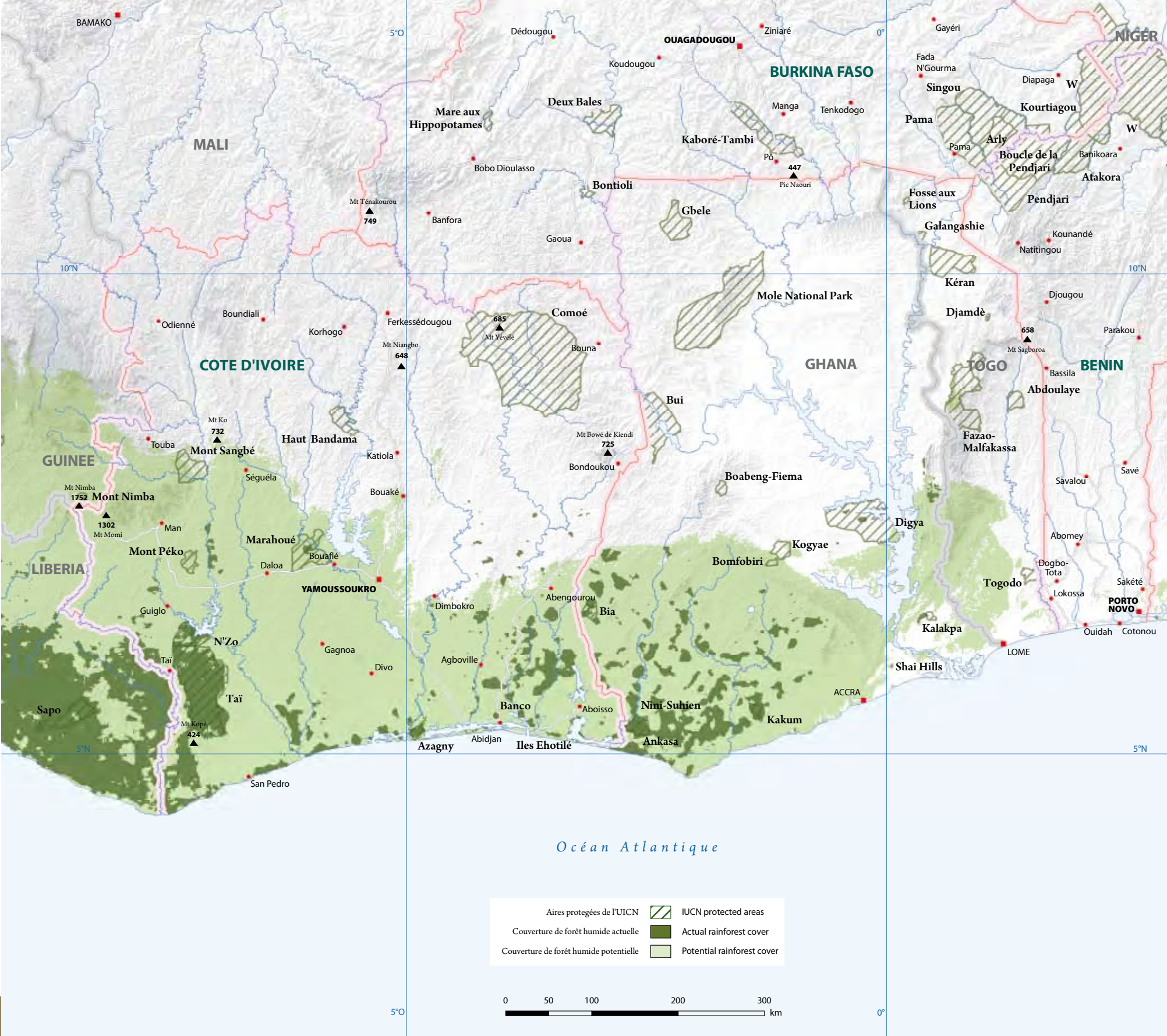
### LA COUVERTURE REELLE

Il est possible d'obtenir des informations sur l'étendue réelle de la forêt tropicale en Afrique de l'Ouest en menant des enquêtes de terrain, cependant la cartographie de zones plus vastes est un projet ambitieux et coûteux. C'est pour cela que nous avons utilisé l'imagerie satellite de ces dernières années pour dresser la carte de la forêt tropicale humide réelle en Afrique de l'Ouest (Carte 3.2). Il y a encore quelques restes de forêt tropicale humide en Côte d'Ivoire, au Libéria et au Ghana. Au Ghana, il s'agit de petits îlots forestiers isolés, alors qu'en Côte d'Ivoire, par exemple, on distingue un grand îlot de forêt tropicale humide et quelques petits îlots. Le Parc National Taï (en Côte d'Ivoire) constitue la plus grande forêt tropicale humide continue et inaltérée. En comparant ces données à la couverture potentielle de forêt tropicale humide, nous constatons qu'il ne reste que 20 % de la forêt tropicale originelle. Au-delà de cette énorme perte en superficie, la taille des vestiges de forêt tropicale, leur connectivité réduite et les conditions environnementales inappropriées autour de ces vestiges, altèrent plusieurs fonctions écologiques, comme la taille et la viabilité des populations de certaines espèces. Ceci a un impact négatif sur la biodiversité, sur l'hydrologie et sur d'autres services écosystémiques importants, car les effets

patches affect various ecological functions like population size or viability. This has negative impacts on biodiversity, hydrology and other important ecosystem services, because edge effects and reduced connectivity alter the ecosystem fundamentally.

### FRAGMENTATION

To know how the effects of forest cover change affect various biological parameters, like species richness or species compositions, it is necessary to quantify the spatial attributes of the remaining fragments: e.g. by area, their shape or their proximity to other fragments. In this context it is also important to apply ecological meaningful metrics to analyze the forest fragments with e.g. bat or amphibian distribution data. A metric or an index here is a value which describes certain spatial attributes of a landscape. These indices can lead to a better explanation of their distributional range. Species might not exist in a small and isolated habitat fragment because it does not support a viable population due to e.g. scarce resources. In map 3.3 a measure for the connectivity of patches is shown. It is visible that some fragments are very isolated (red), while others are connected (green). For example the Taï National park in Côte d'Ivoire is one



**Carte 3.2:** La couverture réelle et potentielle de forêt tropical humide.  
**Map 3.2:** Actual and potential rain forest cover.

périphériques et la connectivité réduite influencent fondamentalement l'écosystème.

### FRAGMENTATION

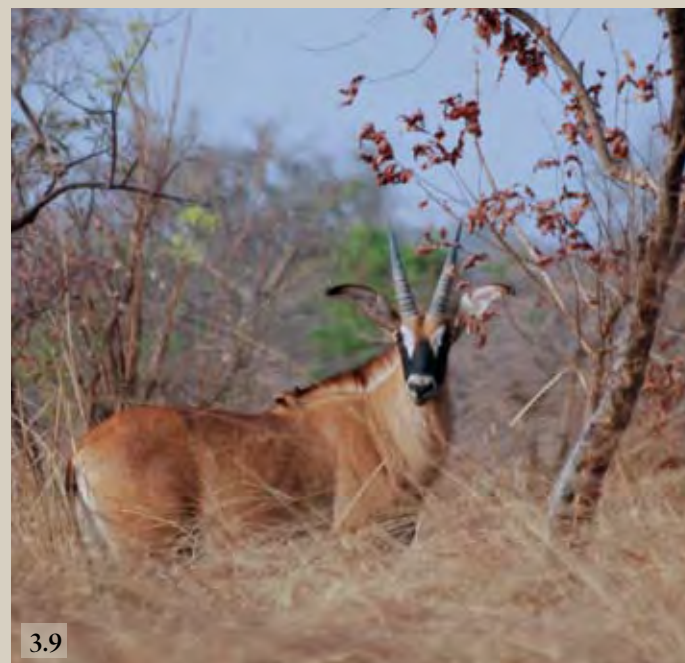
Pour connaître l'ampleur des effets du changement de la couverture forestière sur plusieurs paramètres biologiques, comme la diversité ou la composition des espèces, il est tout d'abord nécessaire de quantifier les attributs spatiaux des îlots forestiers restants : par

exemple, par zone, par leur forme ou par la proximité des autres îlots forestiers. Dans ce contexte, il est tout aussi important d'avoir des paramètres écologiques pertinentes et mesurables pour analyser les vestiges de forêt ; par exemple des données sur la distribution des chauve-souris et des amphibiens. Un paramètre mesurable ou un indice est une valeur décrivant certains attributs spatiaux d'un paysage. Ces indices peuvent apporter une explication plus précise sur la distribution des espèces. Certaines espèces ne pourraient pas

Espèces animales mises en danger par la fragmentation des habitats: | Animal species endangered by habitat fragmentation:

**Fig. 3.8:** Hippopotame nain. | Pygmy hippopotamus. *Hexaprotodon liberiensis*. MRO

**Fig. 3.9:** Antilope rouanne. | Roan antelope. *Hippotragus equinus*. MWE



of the largest remnants of rain forest but in contrast to small fragments in Ghana, this area is not a part of a larger agglomeration of rain forest remnants. The suitability of areas in terms of size and connectivity depends on species in focus. Some species might depend on larger patches while other species might be able to use several patches due to their dispersal capabilities. This has to be taken into account by zoologist, botanists or park managers in order for them to explain biodiversity patterns and also for the setting up of new protected areas.

### CONCLUSION

In times where the surface of the earth is changing tremendously due to human impact, regardless of the change being due to land conversion or being caused indirectly by climate

change, research to protect the remaining nature and mitigate the changes is indispensable. Quantifying the changes and the spatial attributes of remaining fragments of rain forest can lead to an increased awareness and protection of pristine areas. Land cover data from satellite remote sensing provides important data for the spatial analysis of forest remnants.

This study showed that not only the focus on the land cover and its extent is important but it is also important to consider the spatial arrangement of the fragments, which provides valuable information for the potential of species migration. Ultimately, incorporating these factors into biodiversity research or conservation planning can lead to an improved understanding and protection of biodiversity.

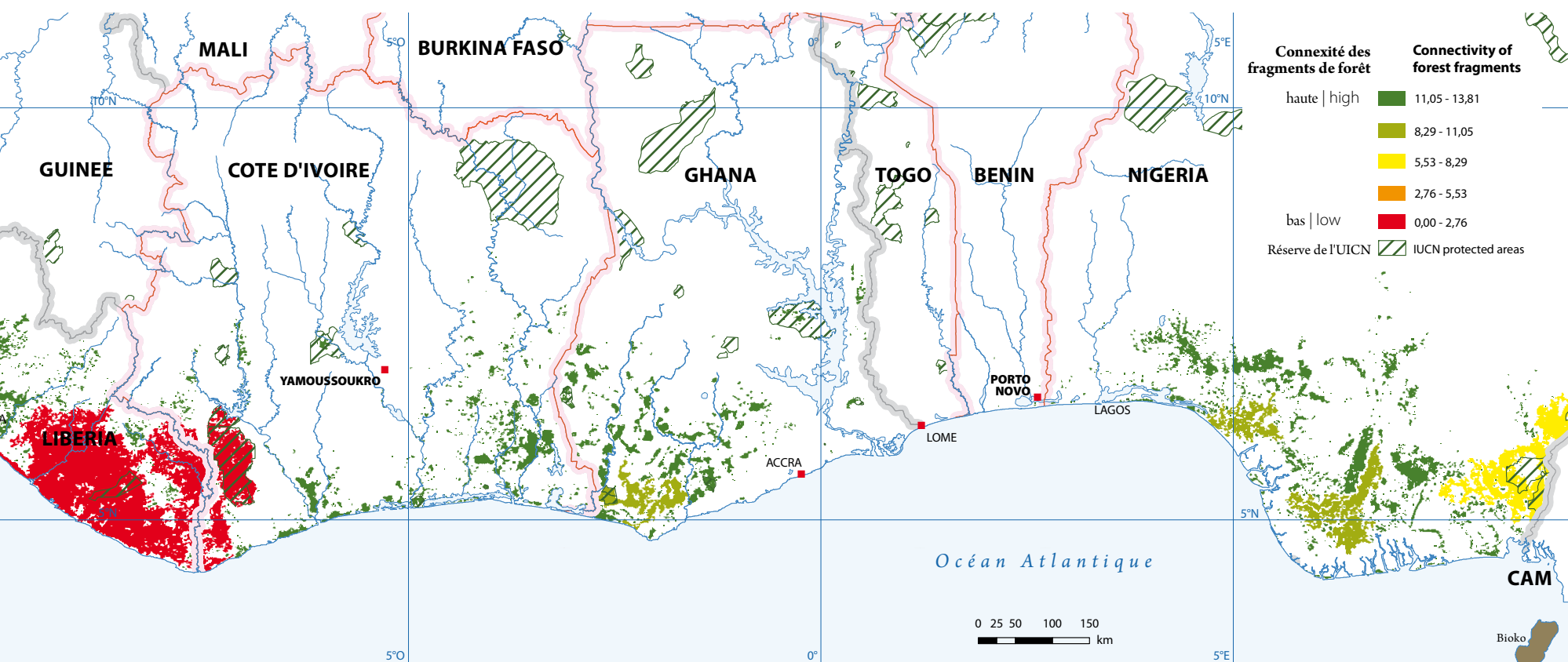
exister dans un habitat de petite taille et isolée, parce que, faute de ressources suffisantes, elles ne pourraient pas entretenir durablement leurs populations. La carte 3.3 décrit la mesure de connectivité des îlots forestiers. On constate que certains îlots sont très isolés (rouge), tandis que d'autres sont connectés entre-elles (vert). Par exemple, le Parc National Tai en Côte d'Ivoire est l'un des plus grands réserves de forêt tropicale humide, mais contrairement aux petites forêts du Ghana, cette zone ne fait pas partie d'une plus grande agglomération de fragments de forêt tropicale humide. La conformité des zones en termes de taille et de connectivité dépend des espèces prises en considération. Certaines espèces pourraient avoir besoin de plus grands espaces tandis que d'autres espèces ont des capacités de dispersion à grande échelle. Ceci doit être pris en considération par les zoologues, les botanistes ou les gérants des parcs afin de pouvoir expliquer les modèles de biodiversité et mettre en place les nouvelles aires protégées.

### CONCLUSION

Alors que la surface de la terre est en train de changer drastiquement à cause de l'action anthropique, sans tenir compte du

changement en cours par la reconversion des sols ou l'influence indirecte du changement climatique, il est indispensable de continuer les recherches pour protéger ce qu'il reste de la nature et atténuer les changements. La quantification des changements et des attributs spatiaux des vestiges de forêt tropicale peut mener à davantage de conscientisation et à la protection des zones naturelles. Les données sur la couverture terrestre obtenues de la télédétection par satellite constituent des données essentielles pour l'analyse spatiale des restes de forêt.

Cette étude a démontré qu'il est important non seulement de mettre l'accent sur la couverture terrestre et sur son étendue mais aussi de considérer la disposition spatiale des fragments forestiers, qui fournit des informations précieuses sur le potentiel de migration des espèces. Pour finir, l'incorporation de ces facteurs dans les recherches sur la biodiversité ou dans la planification de la conservation peut mener à une meilleure compréhension et à la protection de la biodiversité.



Carte 3.3: Connexité des fragments de forêt tropical.

Map 3.3: Connectivity of rain forest fragments.



# 3.3

## *Changement de la couverture terrestre d'après les observations par télédétection satellitaire*

**Tobias LANDMANN**  
**Miriam MACHWITZ**  
**Michael SCHMIDT**  
**Stefan DECH**  
**Paul VLEK**

La couverture **terrestre**<sup>7</sup> est définie comme étant la couverture physique ou l'apparence de la surface de la terre. La meilleure façon d'observer la couverture terrestre et les changements de ses caractéristiques ou l'utilisation des sols est d'utiliser l'imagerie satellitaire, en raison de sa capacité à couvrir des vastes zones de manière efficace. Alors qu'il peut s'avérer difficile et coûteux d'effectuer des analyses de terrain afin d'obtenir un ensemble de données spatiales ou un inventaire des caractéristiques des sols et de leurs changements, la télédétection par satellite procure une vue d'ensemble instantanée, à un moment donné. L'utilisation des images satellitaires en série chronologique peut servir à reconstruire l'historique du changement de la couverture terrestre sur des zones éloignées, et donc fournir des informations utiles sur les tendances d'utilisation des sols. Si les données provenant des satellites sur le

changement/l'utilisation des sols sont précises, elles peuvent aider les décideurs à identifier les zones où la couverture du sol subit des changements rapides. Les zones à changement rapide ou « zones névralgiques » sont, par exemple, des endroits où les surfaces naturelles subissent des transformations, comme dans le cas de zones forestières transformées en zones urbaines [2]. L'identification de ces « zones névralgiques » de changement permettra de surveiller et de mesurer de plus près les effets potentiels de l'urbanisation sur, par exemple, la diversité des espèces à l'intérieur de ces zones. Pour un meilleur aperçu du changement de la couverture terrestre et des accélérateurs de changement à l'échelle locale, nous avons utilisé une zone d'étude modèle au Burkina Faso afin d'étudier le changement de la couverture terrestre de manière plus détaillée. Nous avons utilisé des méthodes conçues à partir de la télédétection par satellite et des données socio-économiques disponibles. Les résultats des observations des changements au Burkina Faso peuvent être généralisés par méta-analyse à la région ouest africaine couverte par le **projet BIOTA**<sup>7</sup>. Sur l'ensemble de la zone échantillonnée au Burkina Faso, nous avons répertorié et étudié les changements de la couverture terrestre sur la période allant de 1990 à 2000. La collecte de données sur la période allant de 2000 à 2007

## *Land cover change in West Africa as observed by satellite remote sensing*

Land cover is defined as being the physical cover or appearance of the surface of the earth. To be able to detect land cover and changes of land cover features or land use, it is most feasible to use satellite imagery, as it has the capacity to cover large areas effectively. Whilst it seems difficult and expensive to perform field analysis to produce a spatial data set or map of land features and their changes, satellite remote sensing can give an overview as a 'snapshot' in time. If satellite imagery is used in a time-series, it can be used to reconstruct historic land cover changes over remote areas and thus provide valuable information on land use trends. If the satellite derived land cover/use change data is accurate, it can be used by decision makers to identify areas where the land surface is changing rapidly. Areas of rapid change or 'hot spots' are for instance regions where transformations of natural surfaces such as woodlands to urban

land occur [2]. Based on the knowledge of where the change 'hot spots' are, possible effects of urbanization on species diversity, for instance, can be monitored and measured within these areas more closely.

To provide an insight into local scale land cover change and change drivers, we used an exemplary study site in Burkina Faso to investigate land cover change in more detail. We used satellite remote sensing based methods and available socio-economic data. The change detection results from Burkina Faso can be generalized within a meta-analysis for the **BIOTA West**<sup>7</sup> region. Within the exemplary study area in Burkina Faso we mapped and investigated the land cover changes from the year 1990 to 2000, and secondly mapped land cover change from 2000 to 2007 for a smaller area, for reasons of satellite data availability.

### **PROCESSES OF LAND COVER CHANGE AND CAUSES OF LAND COVER CHANGE IN WEST AFRICA**

There are multiple and complex causes for the changing surface in West Africa. Land cover change in West Africa occurs often in combination with **climate change**<sup>7</sup>. The exact effect of

s'est effectuée sur une plus petite zone, pour des raisons de disponibilité de données satellitaires.

### **PROCESSUS DE CHANGEMENT DE LA COUVERTURE TERRESTRE ET CAUSES DU CHANGEMENT DE LA COUVERTURE TERRESTRE**

Les causes du changement de la couverture terrestre en Afrique de l'Ouest sont multiples et complexes. Le changement de la couverture terrestre en Afrique de l'Ouest accompagne souvent le **changement climatique**<sup>2</sup>. Il est difficile de distinguer avec précision les effets des changements **anthropiques**<sup>2</sup> de ceux résultant des conditions climatiques [3]. L'Afrique de l'Ouest en tant que région subit actuellement de sévères changements de sa couverture terrestre, notamment à cause de la croissance démographique et de l'intensification de l'agriculture. Néanmoins, en ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest, il n'existe que très peu d'informations sur les différences régionales en matière de changement de la couverture terrestre, c'est-à-dire sur les raisons de ce changement à plusieurs échelles, le rythme auquel se produit ce changement et l'ampleur du changement [4].

both, human or climate induced change is difficult to discern [3]. West Africa as a region is currently being affected by land cover change severely, specifically through the expanding population and intensified agricultural activities. However, information about the regional differences of land cover change, i.e. reasons for the change at various scales, rates at which change occurs and land cover change magnitudes, are still scarcely available throughout West Africa [4]. In BIOTA West we investigated land cover and land use changes from 1990 to 2000, and from 2000 to 2007 primarily in Burkina Faso. To derive the satellite land cover maps in different time frames we used several satellite imagery sources such as 1-kilometer DMSP, 250-meter MODIS, 15-30-meter ASTER, 30-meter Landsat imagery and other digital information data sets on topography, soils and protected area polygons from **Geographical Information System (GIS)**<sup>2</sup> data bases. From 2000 to 2007 we were only able to map changes for a smaller area. Also, we did not have any reference socio economic data from the years 2000 to 2007, thus our detailed land cover driver analysis is constrained to the time frame from 1990 to 2000. Data availability is so often a limiting factor in the long term land cover trend analysis and thus long term

Dans le cadre du projet BIOTA West nous avons étudié le changement de la couverture terrestre et de l'utilisation des sols pour la période comprise entre 1990 et 2000 et pour la période de 2000 à 2007 essentiellement au Burkina Faso. Afin d'obtenir les cartes satellitaires du changement de la couverture terrestre sur plusieurs périodes de temps différentes nous avons utilisé diverses sources d'imagerie par satellite, comme les images des DMSP 1 km, MODIS 250 m, ASTER 15-30, Landsat 30 m, ASTER 15-30 m, Landsat 30 m, ainsi que des ensembles de données numériques sur la topographie, les sols et les polygones de zones protégées provenant des bases de données du **Système d'Information Géographique (SIG)**<sup>2</sup>. Pour la période comprise entre 2000 et 2007 nous n'avons pu répertorier les changements que sur une zone restreinte. Par ailleurs, nous n'avons aucune donnée socio-économique de référence pour la période comprise entre 2000 et 2007 et notre analyse prédominante détaillée sur la couverture terrestre se limite donc exclusivement à la période allant de 1990 à 2000. La disponibilité limitée de données est bien souvent un facteur limitant pour l'analyse des tendances évolutives de la couverture terrestre sur le long terme et par conséquent pour l'analyse du processus de changement de la couverture terrestre à long terme.

land cover change process analysis.

### **TRANSFORMATION**

From the satellite maps within the focus study area we found that in particular woodlands are affected by land cover change more than other land cover units. Between 1990 and 2000 most of the woodlands in the focus area were transformed into agricultural areas. This type of change is called a land cover transformation as it is a complete change of land cover within a certain time frame. The land transformation process made up around 12 percent of the total surface area of the focus area between the years 1990 to 2000. Figure 3.10 shows the relative area of each main conversion processes investigated in the case study area (50 000 km<sup>2</sup>) in Burkina Faso from 1990 to 2000. The relevant contributions of land cover change drivers (or reasons) to the conversions processes are shown as relative fractions in the pie diagram. The driver information was determined using statistical relationships between satellite mapped land cover change and socio-economic data. The fraction sizes in the pie charts show the relative contribution of each driver investigated in this particular study area. For instance, the

## CONVERSION

En observant les cartes obtenues des images satellitaires de la zone étudiée, nous avons découvert que les forêts sont particulièrement plus atteintes par le changement de la couverture terrestre que d'autres unités de couverture terrestre. Entre 1990 et 2000, la plupart des terres boisées de la zone étudiée ont été converties en zones agricoles. Ce type de changement s'appelle une transformation de la couverture terrestre puisqu'il s'agit d'un changement total de la couverture terrestre dans un laps de temps déterminé. Le processus de conversion des sols concernait environ 12% de la surface totale de la zone étudiée entre les années 1990 et 2000. La figure 3.10 présente la zone relative de chaque processus de conversion étudié dans la zone d'étude (50 000 km<sup>2</sup>) au Burkina Faso, de 1990 à 2000. Les contributions des moteurs (ou des raisons) du changement de la couverture terrestre sur les processus de conversion sont représentées en fractions relatives sur les graphes de la figure 3.10. Les données sur les moteurs du changement ont été obtenues en utilisant les rapports statistiques entre les changements de couverture terrestre répertoriés à partir des images satellitaires et les données socio-économiques. Les tailles des fractions sur les graphes reflètent la contribution relative de chaque accélérateur analysé dans

transformation from woodlands into cropland, being the most dominant change processes with an area of ~260 000 ha per year, is primarily caused by proximity to urban areas or population growth. To a lesser degree this transformation is caused by the driving factor cropland expansion, at the expense of

cette zone d'étude particulière. Par exemple, le processus dominant de conversion des zones boisées en zones agricoles concerne une superficie équivalente à 260 000 hectares par an. Ce processus de conversion est essentiellement dû à la proximité des zones urbaines et à la croissance démographique. Dans une moindre mesure, cette conversion est provoquée par l'extension des zones agricoles au détriment des zones boisées. On distingue au total trois moteurs contribuant à la conversion des zones boisées en zones agricoles.

## MUTATION

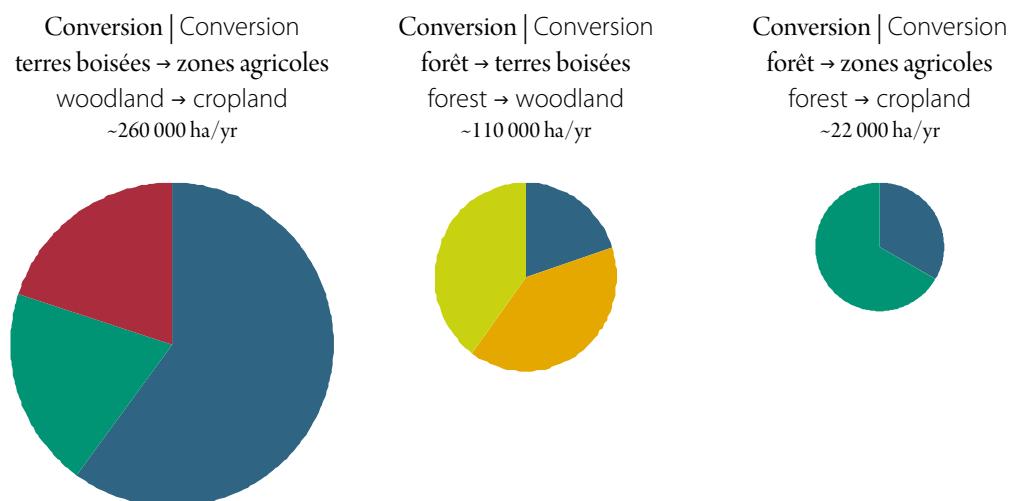
Au cours de la même période d'observation, nous avons constaté que la proximité des routes de même que l'extension des zones boisées au détriment des forêts, sont responsables des processus de mutation de la couverture terrestre (Fig. 3.10). Un processus de mutation est un changement subtil de la forêt en zone boisée. Ce processus de mutation s'est produit à une vitesse d'environ 110 000 hectares par an. L'exploitation forestière sélective est l'une des principales causes de l'accroissement des zones boisées et nous avons constaté son occurrence s'accroît avec la proximité des routes ou des infrastructures. On observe sur la figure 3.11 le transport de bois, sans doute coupé à proximité de la route, vers le marché

woodlands. In total we could determine three driving factors for the transformation of woodlands to cropland.

## MODIFICATION

In the same observation period we found the proximity to

- Densité de population | Population density
- Expansion des espaces cultivés | Cropland expansion
- Pente | Slope
- Expansion des formations boisées | Expansion of woodlands
- Distances aux routes | Distance to roads



**Fig. 3.10:** Principaux processus de conversion des terres par année (en hectares) et la contribution relative des facteurs responsables de ces changements, 1990 et 2000. Zone d'étude de 50 000 km<sup>2</sup> échantillonnée au Burkina Faso. | Main annual land cover change (ha), and relative contribution of drivers for the respective conversion, 1990-2000; 50 000 km<sup>2</sup> exemplary study area in Burkina Faso.

d'Ouagadougou (Burkina Faso). Dans la zone sud du transect<sup>2</sup> BIOTA, le feu est souvent utilisé comme agent ou comme un moyen de changement de la couverture terrestre en même temps que l'exploitation forestière ou le tronçonnage de la végétation, comme nous le montre la figure 3.12, concernant une zone de la Côte d'Ivoire. Le défrichage des champs consacrés aux activités agricoles se fait par brûlis, ce qui fait du feu également un important outil de gestion des sols.

### MODELES SPATIAUX DE CHANGEMENT EN AFRIQUE DE L'OUEST

Le résultat des processus de conversion et de mutation peut être observé depuis l'espace en utilisant l'imagerie par satellite, notamment lorsqu'on effectue une détection du changement à partir d'images satellites effectuées à des périodes différentes. La carte 3.4 présente un exemple du projet BIOTA au sud et au centre du Burkina Faso, ainsi que au nord du Ghana et du Bénin. Les codes de couleurs représentent les différentes classes de couvertures terrestres et la même région y sont représentés en 2000 et 2007 respectivement. Entre 2000 et 2007, une grande partie des terres boisées ouvertes et fermées ont été remplacées par des terres boisées ouvertes, en vert

roads, and equally so the expansion of woodlands at the expense of forests, to be driving factors for so called land cover modification processes (Fig. 3.10). A modification process is a subtle change from forest to woodland. This modification process occurred at a rate of ~110 000 ha per year. An expansion of woodlands is mostly due to selective logging, and in this case we could observe that the process was most notable next to roads/infrastructure developments. Figure 3.11 shows how wood that was presumable harvested near the road is transported towards Ouagadougou in Burkina Faso, where the wood is sold on the market. In the southern area of the BIOTA transect<sup>2</sup>, fire is often used as an agent or tool for land cover change in conjunction with tree felling or vegetation slashing, as shown in figure 3.12 for an area in Ghana. Fields for agricultural tillage are often cleared using fire, thus fire is also an important instrument for land management.

### SPATIAL PATTERNS OF CHANGE IN WEST AFRICA

The result of the transformation and modification processes can be seen from space using satellite imagery, especially when performing change detection on satellite images from different



3.11



3.12

**Fig. 3.11:** Le développement d'infrastructures entraîne souvent l'exploitation des terres boisées dans leur proximité. | Infrastructural developments often result in selective logging of woodlands along roads. CPA

**Fig. 3.12:** Défrichements avec brûlis de la végétation. | Land clearing with fire. JFO

#### DMSP – Defense Meteorological Satellites Program

Capteur sur satellite à faible résolution spatiale de spectres visibles et infrarouges, les données sont disponibles gratuitement. | Low spatial resolution, visible and infrared spectra satellite sensor, data is freely available

#### MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

Spectromètre pour imagerie satellitaire de moyenne résolution pouvant capter des spectres visibles et thermiques ; les données ont une résolution temporelle et sont disponibles gratuitement. | Low to moderate resolution, visible to thermal spectra satellite sensor, data has daily temporal resolution and is freely available

#### ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

De moyenne à haute résolution, capable d'absorber des spectres visibles et thermiques ; les données sont accessibles à leur valeur nominale. | High to moderate resolution, visible to thermal satellite sensor, data is available at a nominal cost

**Landsat** – Capteur sur satellite de moyenne à haute résolution, spectre visible et thermique, basse Résolution temporelle, la plupart des données sont disponible gratuitement. | High to moderate resolution satellite sensor, visible to thermal spectra, low temporal resolution, most data is freely available

plus clair (Carte 3.4). Les terres boisées vierges (vert foncé) ont été largement remplacées par une végétation très ouverte (terres boisées/prairies en orange), y compris à l'intérieur des zones protégées au Burkina Faso et au nord du Bénin. Dans la partie occidentale du Burkina, les zones boisées/prairies naturelles très ouvertes (orange) ont été largement remplacées par des zones agricoles (gris). Cette conversion trouve sa cause dans l'extension des zones de culture du coton au Nord-Ouest du Burkina Faso entre 2000 et 2007.

Cependant, certaines conversions des terres boisées peuvent être attribuées à des effets saisonniers, comme une diminution des précipitations au fil des années. Avec la télédétection par satellite il est souvent difficile de distinguer correctement les changements de la couverture terrestre dus à des effets de végétation saisonniers puisqu'ils sont également identifiés en tant que changements de la « verdure » végétale au fil du temps. Pourtant, les principaux modèles de changements dans la zone étudiée ont été validés par des observations de terrain et des données socio-économiques. Le changement de la couverture terrestre que nous avons décrit est en mesure de fournir des prévisions précises des tendances de changement de la couverture terrestre.

dates. Map 3.4 shows an example from the BIOTA project in southern and central Burkina Faso, including northern Ghana and Benin. The colour codes represent land cover classes, and the same region is shown respectively for the year 2000 and 2007.

Between 2000 and 2007, large parts of the closed to open woodlands were replaced by open woodlands, in a lighter green (Map 3.4). Pristine woodlands (dark green) were replaced largely by very open vegetation (woodlands/grasslands in orange), even within protected areas in eastern Burkina Faso and northern Benin. In western Burkina natural very open woodlands/grasslands (orange) has been replaced by agricultural lands (grey) to a large extent. This transformation is due to the expansion of cotton growing areas in northwestern Burkina Faso between 2000 and 2007.

Some of the woodland modifications, however, can be attributed to seasonal effects such as decreases in rainfall over time. In satellite remote sensing it is often difficult to correctly discern land cover changes from seasonal vegetation effects as they are also identified as changes in vegetation 'greenness' over time.

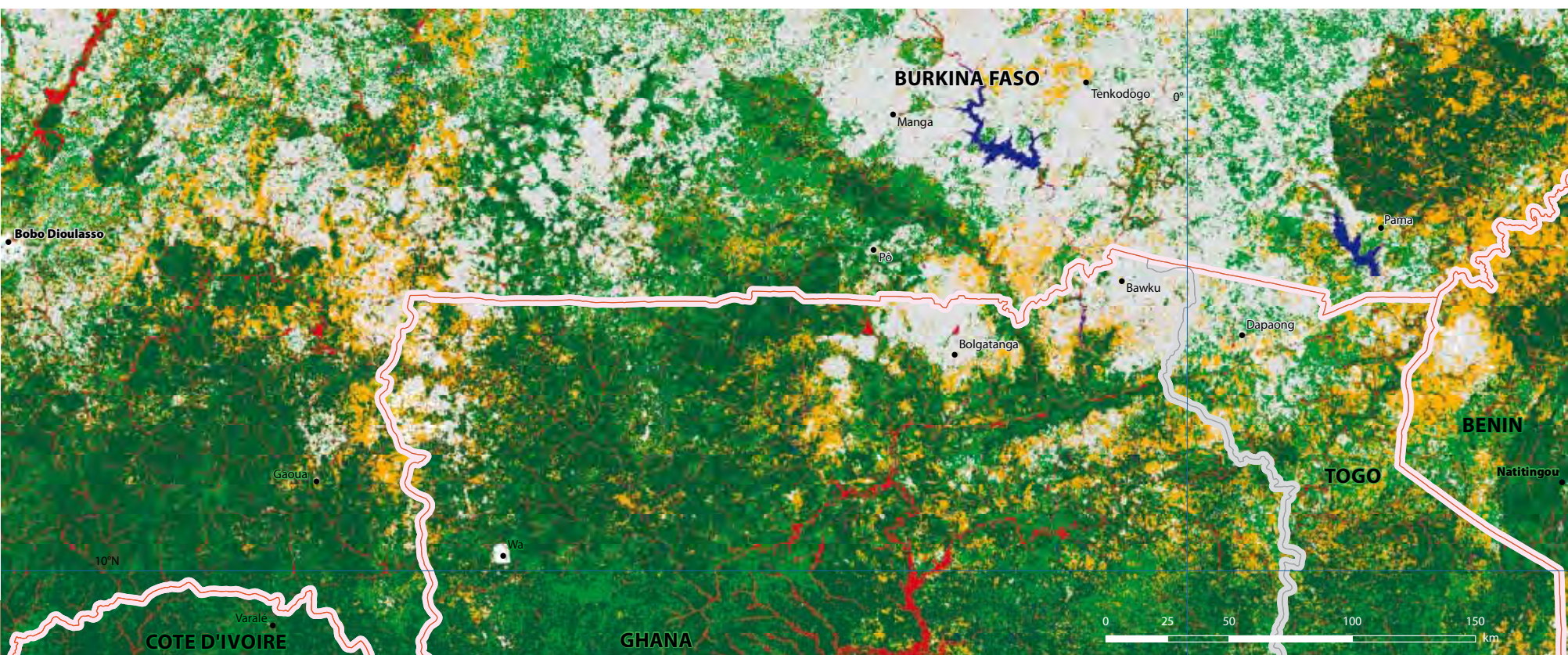
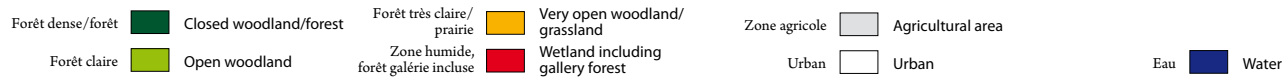
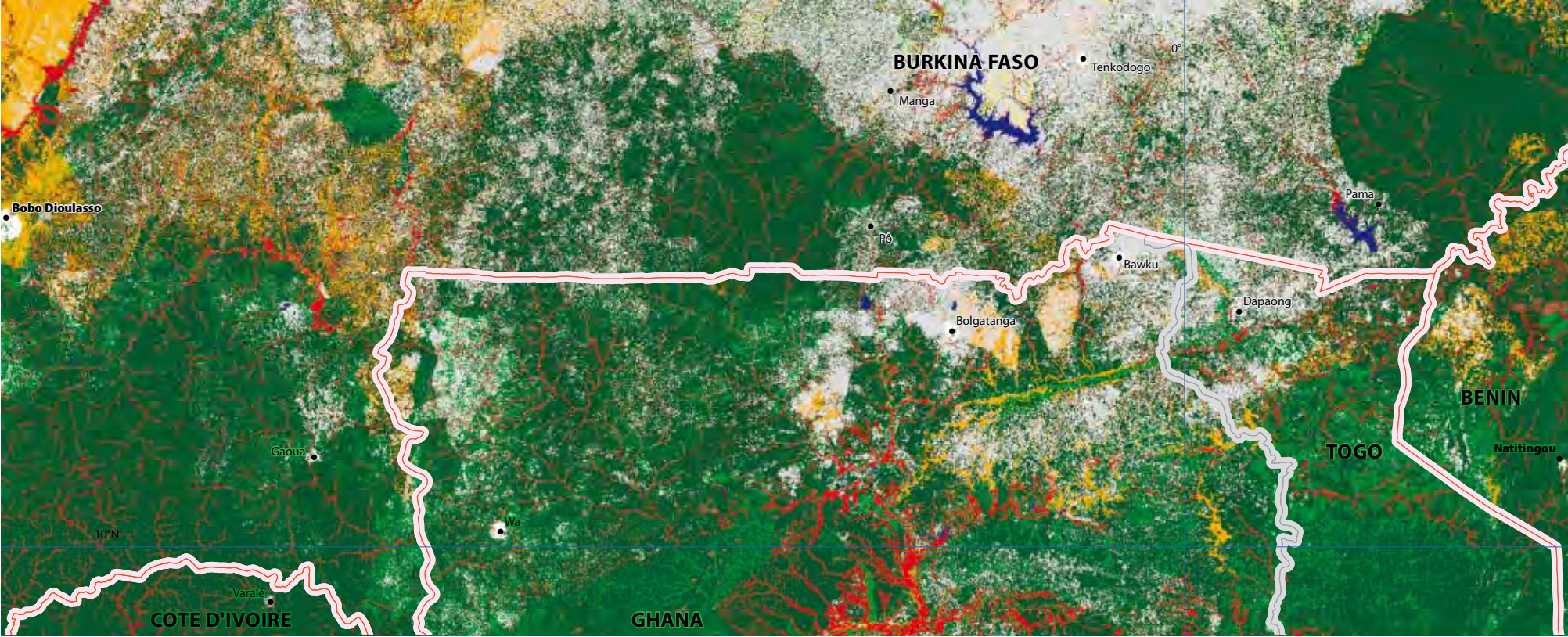
## APPLICATION

La télédétection par satellite peut servir à identifier et cartographier efficacement les changements de la couverture terrestre, son ampleur et ses tendances. Avec l'apport de données socio-économiques, il est possible d'évaluer et de quantifier les facteurs responsables de ce changement. Grâce aux statistiques dérivées des cartes satellitaires et des données socio-économiques, les décideurs peuvent prévoir les changements selon une variété de scénarios de changement et de gestion des sols. Dans une étape ultérieure, les scénarios pourraient être observés sur une plateforme d'informations ou une interface de données graphiques. Ultérieurement, l'interface graphique pourrait faire office d'aide visuelle pour les acteurs du projet, les hommes politiques et les agriculteurs, pour évaluer les conséquences des décisions en matière de gestion des ressources et y apporter des améliorations.

Nonetheless the broad patterns of change in the focus area were validated by field observations and socio economic data. The described land cover change can be deemed as accurately predicting current land cover change trends.

## APPLICATION

Satellite remote sensing can be employed to effectively identify and map land surface changes, magnitudes and trends. If socio economic data is available the drivers of change can be assessed and quantified. The statistics derived from the satellite mapped change and the socio economic data can be used by decision makers to predict changes under a variety of change and land management scenarios. The scenarios could be, in a further step, visualized within an information platform or graphic data interface. Subsequently the graphical interface could be used by project stakeholders and politicians and farmers as visual aid to assess the consequences of resource management decisions and for improved resource management.



**Carte 3.4:** Couverture terrestre cartographiée à partir d'images satellites de l'an 2000, en haut, et la couverture terrestre correspondante en 2007, en bas. Plusieurs sources d'images satellites ont été utilisées pour les deux cartes respectivement. | **Map 3.4:** Land cover mapped from satellite imagery for the year 2000, top image, and corresponding land cover in 2007, bottom image. Several satellite image sources were used for both maps.

## Données constantes dérivées de la télédétection sur la densité des arbres

Matthias SCHRAMM, Tobias LANDMANN, Miriam MACHWITZ, Michael SCHMIDT, Stefan DECH

Les évaluations sur la **biodiversité**<sup>7</sup>, la distribution des espèces et les modèles de diversité dérivent d'informations extrêmement précises sur la thématique de la couverture **terrestre**<sup>7</sup>. Les méthodes courantes pour dresser la carte des **habitats**<sup>7</sup> à partir de données dérivées de la télédétection satellitaire, consistent en l'utilisation des ensembles de données et des types de couvertures terrestres, où la couverture terrestre est interprétée en tant que classe homogène sans tenir compte de l'**hétérogénéité**<sup>7</sup> à l'intérieur de la classe. Les changements graduels entre les différents types de couvertures terrestres, comme les subtils gradients entre les terres boisées et les savanes herbeuses, sont très courants dans les savanes de l'Afrique de l'Ouest. Cependant, ces gradients ne sont généralement pas bien exposés sur les cartes de la couverture terrestre, notamment quand les types de couvertures terrestres sont à une échelle ordinaire et que l'on utilise des polygones définis au sens large.

En outre, la distribution de certaines espèces est étroitement liée au rapport entre les types de couverture terrestre **ligneux**<sup>7</sup> et herbeux, en raison de l'utilisation qu'elles font de ces formes de vie respectives, par exemple comme nourriture ou comme bois de chauffage. La prévision spatiale des savanes en Afrique de l'Ouest dépend donc en grande partie du rapport entre ces deux composants de couverture terrestre. La différenciation thématique au sens large des habitats n'est pas un indicateur approprié de la distribution des espèces par rapport à leur habitat. Au lieu de cela, pour un plan détaillé de la distribution des espèces, il est indispensable d'obtenir des informations précises sur la densité des arbres.

Pour résoudre le problème des polygones de couverture terrestre grossièrement définis et surmonter les obstacles de la représentation inexacte des gradients de la couverture terrestre, nous avons mis au point une méthode pour dresser des cartes pouvant décrire des proportions continues de différents composants de la couverture terrestre sur une zone bien définie, dont la superficie correspond à un pixel sur l'image satellite. Nous avons mis au point cette méthode et nous l'avons utilisée dans le cadre du projet BIOTA, en nous référant au Parc National de Bontoli au Burkina Faso comme zone d'étude de cas (Carte 3.5).

Pour la méthode du composant pixel, nous avons utilisé plusieurs sources de données satellitaires avec des bandes de fréquence spectrale et des définitions spatiales différentes. Pour dresser la carte d'une zone de densité d'arbres plus vaste nous avons utilisé les données recueillies par un satellite MODIS avec une définition de 250 mètres, aux alentours du parc national de Bontoli. La

carte de la densité des arbres qui en découle, avec une répartition plus précise des changements graduels entre les composants de la savane arborée et de la savane herbeuse, englobe plusieurs habitats et représente leur rapport avec plus de précision. Les cartes 3.6 et 3.7 présentent une comparaison entre une méthode courante pour la subdivision en classes discrètes et le résultat de l'approche mise au point pour le parc national de Bontoli, au Burkina Faso. Pour la carte 3.7 nous avons utilisé les données d'un satellite ASTER de haute définition, pour les deux ensembles de données. Grâce à cette nouvelle approche, l'hétérogénéité de la zone de sol nu, ainsi que les gradients entre les herbes et les arbres, en haut et à gauche de l'image, peuvent être regroupés et répertoriés avec plus de précision. La carte 3.8 présente la carte de la densité des arbres dérivée de la carte de proportion de la couverture terrestre du Parc National de Bontoli décrite plus haut. Le résultat n'est pas un polygone homogène d'une thématique générale de classe de couverture terrestre mais plutôt la carte d'un paysage hétérogène.

Cette méthode d'estimation de proportion de couverture terrestre peut être façonnée pour des zones plus vastes. La carte 3.9 présente une représentation de la densité des arbres pour une vaste zone de l'Afrique de l'Ouest à partir des données recueillies par un satellite MODIS avec une définition de 250 mètres. Le calcul des ensembles de données extrêmement précises sur la densité est donc possible et peut constituer un important paramètre de saisie pour les modèles de distribution des espèces.

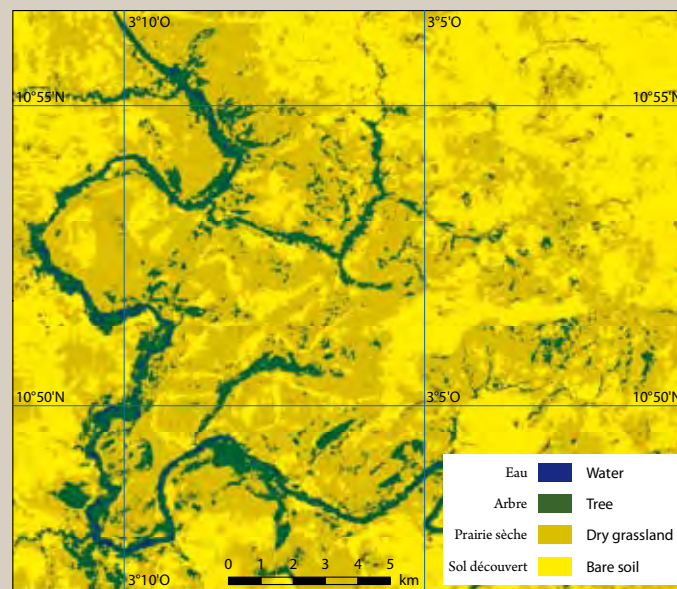
### Continuous tree density data as derived by remote sensing

**Biodiversity**<sup>7</sup> assessments, species distribution, and diversity models depend on highly accurate thematic land cover information. Common methods of mapping **habitats**<sup>7</sup> employing satellite remote sensing data often use land cover types and data sets, where the land cover is interpreted as homogenous classes and the **heterogeneity**<sup>7</sup> within the land cover class is not considered. Gradual changes between land cover types, such as subtle gradients between woodland and grassland savanna, are very common in West African savannas. But largely these gradients are not well described in land cover mapping, especially when land cover types are on an ordinal scale and broadly defined polygons are used.



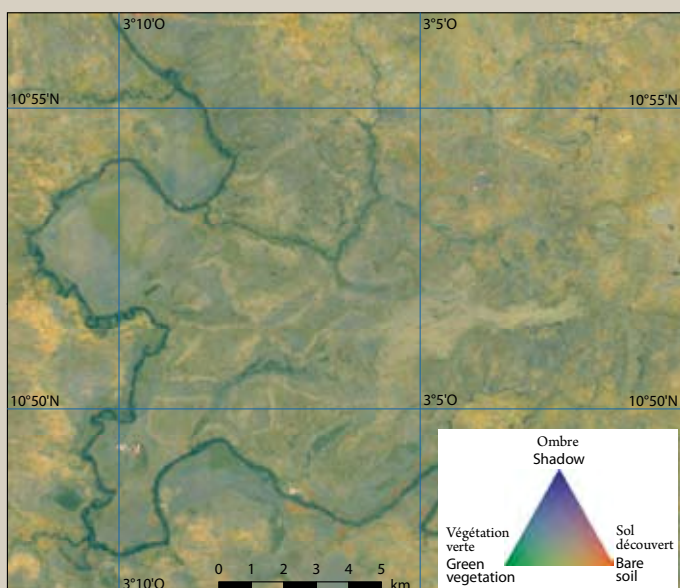
**Carte 3.5:** Image satellite ASTER du Parc National de Bontioli au Burkina Faso. La couleur rouge signale de fait de végétation photosynthétique active.

**Map 3.5:** ASTER satellite image of Bontioli National Park in Burkina Faso. Red colour indicates photosynthetic active vegetation.



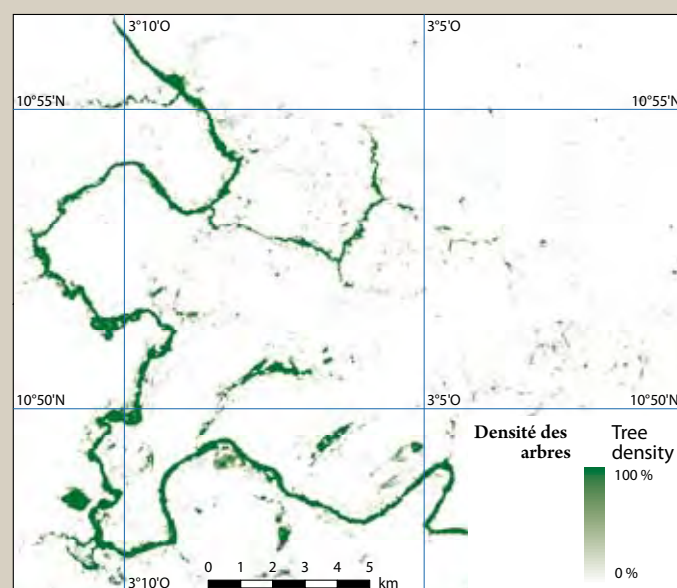
**Carte 3.6:** Cartographie de la couverture terrestre avec une méthode courante.

**Map 3.6:** Land cover mapping using common methods.



**Carte 3.7:** Cartographie de la couverture terrestre avec la nouvelle approche innovatrice fondée sur les composants pixel.

**Map 3.7:** Land cover mapping with innovative new approach based on pixel components.



**Carte 3.8:** Densité des arbres obtenue grâce à la nouvelle approche de cartographie par composant pixel.

**Map 3.8:** Tree density extracted from the new pixel component mapping approach.

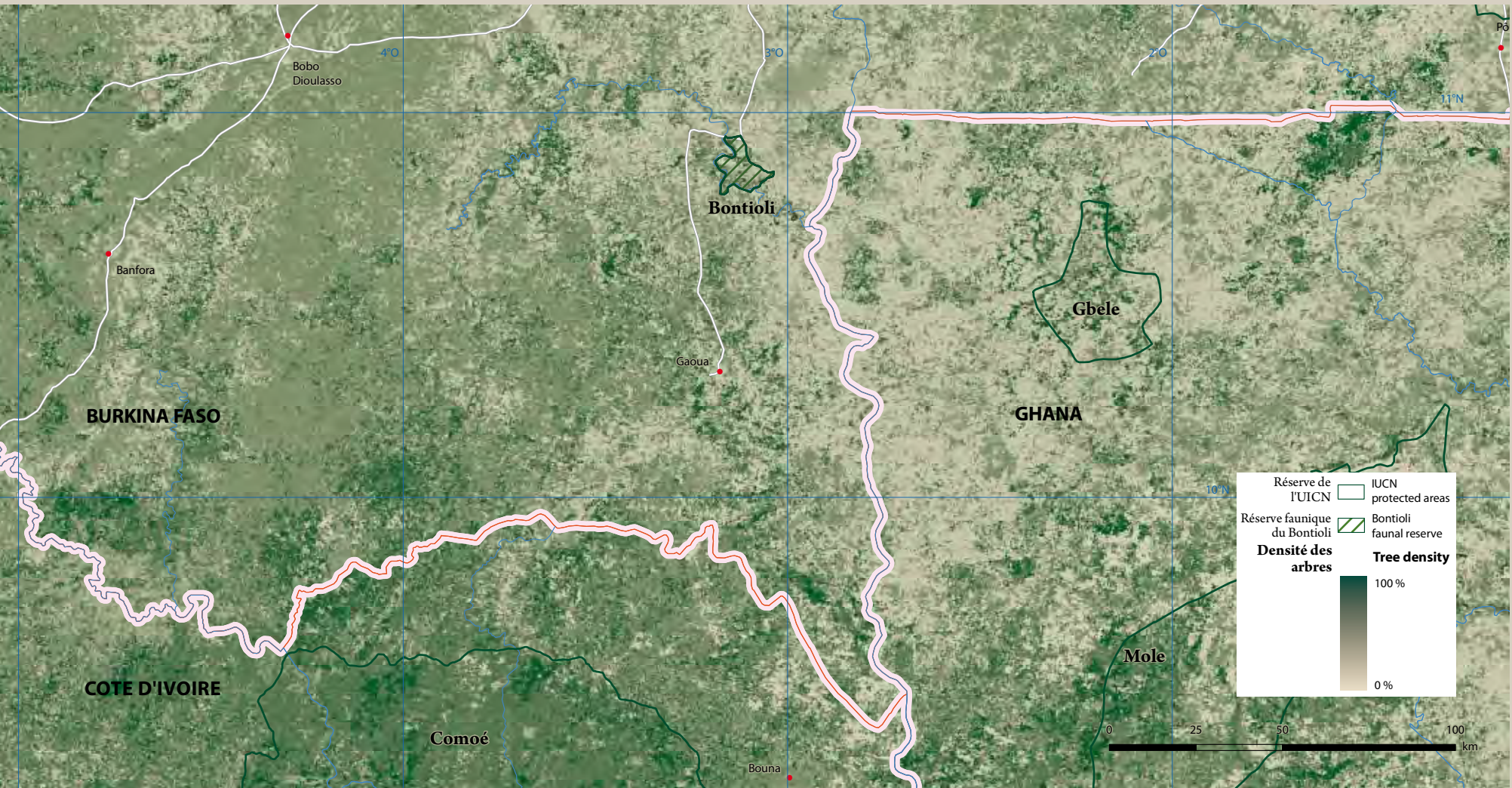


Moreover, the distribution of some plant species depends on the relation between **ligneous**<sup>↗</sup> and **herbaceous**<sup>↗</sup> land cover types, due to the utilization of these respective life forms for instance as either food or firewood source. Thus the spatial prediction of savannas in West Africa relies largely upon the relationship between these two land cover components. Broad thematic differentiation of habitats is not an appropriate indicator for species distributions in relation to their habitat. Instead, knowledge about accurate tree density is essential for a deeper insight of species distribution.

To solve the problem of broadly defined land cover polygons and overcome obstacles in the inaccurate representation of land cover

gradients we developed a mapping method which has the ability to detect continuous proportions of distinct land cover components in an area, covered by a pixel which makes up a satellite image. We developed this method and employed it within the framework of the BIOTA project, using the Bontioli National Park in Burkina Faso as a case study site (Map 3.5).

For the pixel component method we used several satellite data sources with different spectral wavebands and spatial resolutions. To map a larger area of tree density we used 250-meter resolution MODIS satellite data around the Bontioli National Park. The resulting tree density map with a more accurate discrimination of gradually changes between tree



**Carte 3.9:** Carte générale de densité d'arbres dans la région d'Afrique occidentale issue du traitement de données à haute résolution MODIS.

**Map 3.9:** Broad area tree density map of a West African region derived by coarse resolution MODIS data.

and grass savanna components covers several habitats and represents their relationship much more accurately. Map 3.6 and map 3.7 show a comparison between a common method for the subdivision in discrete classes and the result of the developed approach for the Bontioli national park, Burkina Faso. In map 3.7 we used high resolution ASTER satellite data for both data sets. Especially the heterogeneity of the bare soil area as well as the gradient between grasses and trees in the upper right of the image can be modelled and mapped more accurately with this new approach. Map 3.8 shows the tree density map derived from the land cover proportion map of the Bontioli National Park mentioned above. The result is not a homogenous polygon of only one coarse thematic land cover class, but a heterogeneous landscape map.

This method of proportion estimation of land cover can be modelled for broad areas. Map 3.9 shows a tree density map for a wide West African area and using 250-meter MODIS satellite data. Hence the calculation of high accurate density datasets is possible, which can be used as an important input parameter in species distribution models.

# 3.4

## Amphibiens de l'Afrique de l'Ouest

Johannes PENNER  
P. Joël ADEBA  
Annika HILLERS  
S. Gilles A. NAGO  
Mark-Oliver RÖDEL

Les amphibiens - Il divise en trois groupes (ordres): les anoures (grenouilles, crapauds, etc.), les cécilies et les urodèles (salamandres, tritons) - sont les descendantes vivants des premiers vertébrés qui ont marché sur la terre. Leur nom « amphibien » faisant référence à leur mode de vie : la plupart des espèces pondent des oeufs en milieu aquatique et les têtards des oeufs fraîchement éclos ont une phase de vie aquatique jusqu'à leur transformation (**métamorphose**<sup>?</sup>). Les adultes ont une phase **terrestre**<sup>?</sup>, du moins partiellement. « Amphi » vient du grec et signifie « des deux côtés » et « bios », qui vient aussi du grec, signifie « vie ». Les amphibiens sont donc des animaux « qui vivent des deux côtés », dans l'eau et sur la terre. Les amphibiens constituent un groupe d'espèces animales fortement menacées, notamment par la perte d'**habitats**<sup>?</sup> favorables.

## West African Amphibians

Amphibians can be divided into three large groups (orders): anurans (frogs, toads, etc.), caecilians and urodela (newts, salamanders). They are the living cousins of the first **vertebrates**<sup>?</sup> to walk on land, their name "amphibians" stemming from their life cycle: most species lay eggs in water and the hatched tadpoles live an aquatic life until they transform (**metamorphose**<sup>?</sup>) into adults, which live, at least partly, **terrestrial**<sup>?</sup>. "Amphi" is Greek and means on "both sides" and "bios" is also Greek and translates into "life". Hence amphibians are animals "living on both sides", water and land. Amphibians are a highly threatened animal group, endangered especially by the loss of suitable **habitats**<sup>?</sup>.

### FORMS AND LIFESTYLES

**Anurans:** The most species rich amphibian order are the tailless amphibians or anurans, also known as frogs and

### MODES ET STYLES DE VIE

**Les Anoures :** L'ordre des amphibiens avec la plus grande diversité d'espèces est celui des amphibiens sans queue ou anoures, plus couramment connus comme les grenouilles et les crapauds. À ce jour, presque 200 espèces de 12 familles ont été répertoriées en Afrique de l'Ouest. Les vrais crapauds (famille Bufonidae : 20 espèces) ont pour la plupart des peaux verruqueuses et de grosses glandes des deux côtés de la tête derrière les yeux (voir Fig. 3.13). Les formes et les tailles de ces glandes sont des traits caractéristiques pour déterminer les espèces. Outre quelques espèces spécialisées de crapauds vivant dans les forêts, beaucoup d'autres crapauds sont très fréquents dans les champs, les villages et les villes. L'une des raisons de l'existence de certaines espèces très courantes est la capacité des femelles de produire des dizaines de milliers d'oeufs. Les anoures regroupent une grande variété de modes et de styles de vie : les espèces marrons de petites tailles, vivant pour la plupart dans les litières feuillues des forêts; les rainettes aux couleurs vives, dont on entend souvent les cris provenant de la végétation le long des cours d'eau; les espèces complètement aquatiques, ne sortant de l'eau que pour se déplacer d'un étang à l'autre; les grandes espèces des savannes, souvent adaptées à la vie dans les champs; les espèces de taille

toads. So far almost 200 species belonging to 12 families are known from West Africa. True toads (family Bufonidae: 20 species) have mostly warty skins and large glands at the side of their head behind the eyes (see Fig. 3.13). Shapes and sizes of these glands are a good feature for determining the species. Besides a few toad species specialised on forests, many toads are commonly encountered in fields, villages and towns. One reason for the success of the common toads, lies in the ability of a single female to produce tens of thousands of eggs. Anurans comprise a huge variety of forms and lifestyles: ranging from small brown species, living mostly in the leaf litter of forests; colourful tree frogs, which can often be heard calling in the nights from the vegetation along water; completely aquatic species, only leaving the water to travel between ponds; large savanna species, which are often able to live in fields; medium sized species, occupying small streams and calling like birds to species which can jump several meters. For example the "rocket frog" (*Ptychadena oxyrynchus*, Fig. 3.14) can be found throughout savanna regions in Africa and is known to be able to leap up to 12 m, the world record in frog long jump.

moyenne, vivant dans les petits ruisseaux et dont le cri ressemble à celui d'un oiseau et les espèces pouvant faire des sauts de plusieurs mètres. Par exemple, la «grenouille fusée» (*Ptychadena oxyrhynchus*) (Fig. 3.14) très fréquente dans toutes les régions de savane en Afrique et peut faire des sauts de 12m de long, le record mondial du saut en longueur de grenouille.

**Les Cécilies** : Un groupe souvent négligé d'amphibiens est celui des cécilies. Ils sont dépourvus des extrémités, ils ont une queue, vivent sous terre et sont très semblables à des vers de terre (Fig. 3.15). Leurs yeux sont quasiment invisibles et la plupart des espèces de ce groupe ont probablement un style de vie **prédateur**, se nourrissant de vers de terre et d'autres **invertébrés** à corps mou.

**Urodèles** : Le troisième ordre, les Urodèles (caudata) ou salamandres, sont munis d'extrémités et d'une queue. On ne trouve aucune espèce de cet ordre en Afrique sub-saharienne.

Bien que les amphibiens soient largement étudiés dans de nombreuses zones de Afrique de l'Ouest, il arrive parfois de découvrir des espèces inconnues des scientifiques dans des zones restreintes,

**Caecilians**: An often overlooked amphibian group are the caecilians. They are legless, have a tail, live underground and very much look like earthworms (Fig. 3.15). Their eyes are barely visible and probably most species of this group follow a **predatory** lifestyle feeding on earthworms and other soft bodied **invertebrates**.

**Urodela**: Members of this group have legs and a tail. No species of this order occurs in Africa south of the Sahara.

Although many West African areas are well investigated for amphibians, species new to science are still found in sometimes small, but still unexplored areas, especially in forests. Even in the middle of large towns, for example in the Banco National Park within the city of Abidjan (Côte d'Ivoire), a new frog species (and at the same time a new genus), was discovered and described in 2009 [5]. It was named *Morerella cyanophthalma* referring to the blue eyes of the females (Fig. 3.16).

Amphibians are also remarkable because they are the vertebrate group with the most variable reproduction strategies



3.13



3.14



3.15



3.16

**Fig. 3.13:** *Bufo maculatus* MRO

**Fig. 3.14:** *Ptychadena oxyrhynchus* RER

**Fig. 3.15:** *Geotrypetes seraphini* MRO

**Fig. 3.16:** *Morerella cyanophthalma* DMA

souvent inexplorées, notamment dans les forêts, bien qu'également présents au coeur de grandes agglomérations, par exemple dans le Parc National de Banco au coeur de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Une nouvelle espèce de grenouille (ainsi qu'un nouveau genre) a été découverte en 2009 [5]. Elle a été nommée *Morerella cyanophthalma* en référence aux yeux bleus des femelles (Fig. 3.16). Les amphibiens constituent le groupe de **vertébrés** disposant du plus grand nombre de stratégies de reproduction et il y a donc plusieurs variations du schéma général de la métamorphose de la phase de vie aquatique à la phase de vie terrestre. Certaines espèces protègent leur progéniture de la dessiccation (les grenouille à nez de cochon, *Hemisus*) ou contre les prédateurs (ouaouarons, *Pyxicephalus*). Ces derniers creusent même des tunnels jusqu'aux sources d'eau proches quand l'habitat larvaire se dessèche. Certaines espèces utilisent des lacs minuscules comme des trous d'arbres ou des coquilles d'escargots remplies d'eau comme habitat pour les têtards. D'autres encore font des nids de mousse dans la végétation et y cachent leurs oeufs. Les rainettes (*Hyperoliidae*) collent ou enroulent leurs oeufs dans des feuilles et les têtards fraîchement éclos tombent dans l'eau. Il existe également des grenouilles au développement direct, c'est-à-dire qu'elles ne passent pas par une phase de

and hence there are many variations of the general scheme of water to land metamorphose. Some species protect their offspring from desiccation (pig-nosed frogs, *Hemisus*) or against predators (bullfrogs, *Pyxicephalus*). The latter even dig channels to nearby waters if the larval habitat is drying out. Some species use tiny ponds like tree holes or snail shells filled with water as tadpole habitat. Others make foam nests in the vegetation and hide the eggs inside. Treefrogs (*Hyperoliidae*) often glue or fold their eggs into the vegetation and the freshly hatched tadpoles drop into water. There are even frogs with a direct development, which means they do not have the tadpole stage, but the froglets hatch directly from the eggs (e.g. squeakers, *Arthroleptis*). The most spectacular variation of a reproduction strategy is giving live birth to fully developed, albeit small frogs (**vivipary**). Worldwide this can be observed in only one amphibian species, the Nimba toad (*Nimbaphrynoides occidentalis*). This species occurs exclusively in a very small mountain grassland area on the ridges and tops of the Nimba Mountains, located on the borders between Liberia, Côte d'Ivoire and Guinea. Adults are about 2-3 cm long and the females nourish the developing embryo directly by a placenta like structure. After

têtard mais les petites grenouilles sortent directement des oeufs (par exemple, les grenouilles criardes, *Arthroleptis*). La plus spectaculaire des variations de stratégies de reproduction est celle qui consiste à accoucher des grenouilles vivantes, qui bien que petites, sont entièrement développées (**vivipares**). Ceci est le cas d'une seule espèce d'amphibiens dans le monde, le crapaud des Monts Nimba (*Nimbaphrynoides occidentalis*). Cette espèce se développe exclusivement dans une petite zone de savane montagnaise, sur les sommets et les contre-pentes des Monts Nimba, située aux frontières du Libéria, de la Côte d'Ivoire et de la Guinée. Les adultes mesurent environ 2-3 cm de longueur et les femelles nourrissent directement l'embryon à partir d'une structure semblable à un placenta. Au bout d'une période de 9 mois, elles accouchent d'environ 12 juvéniles de 7 mm de longueur.

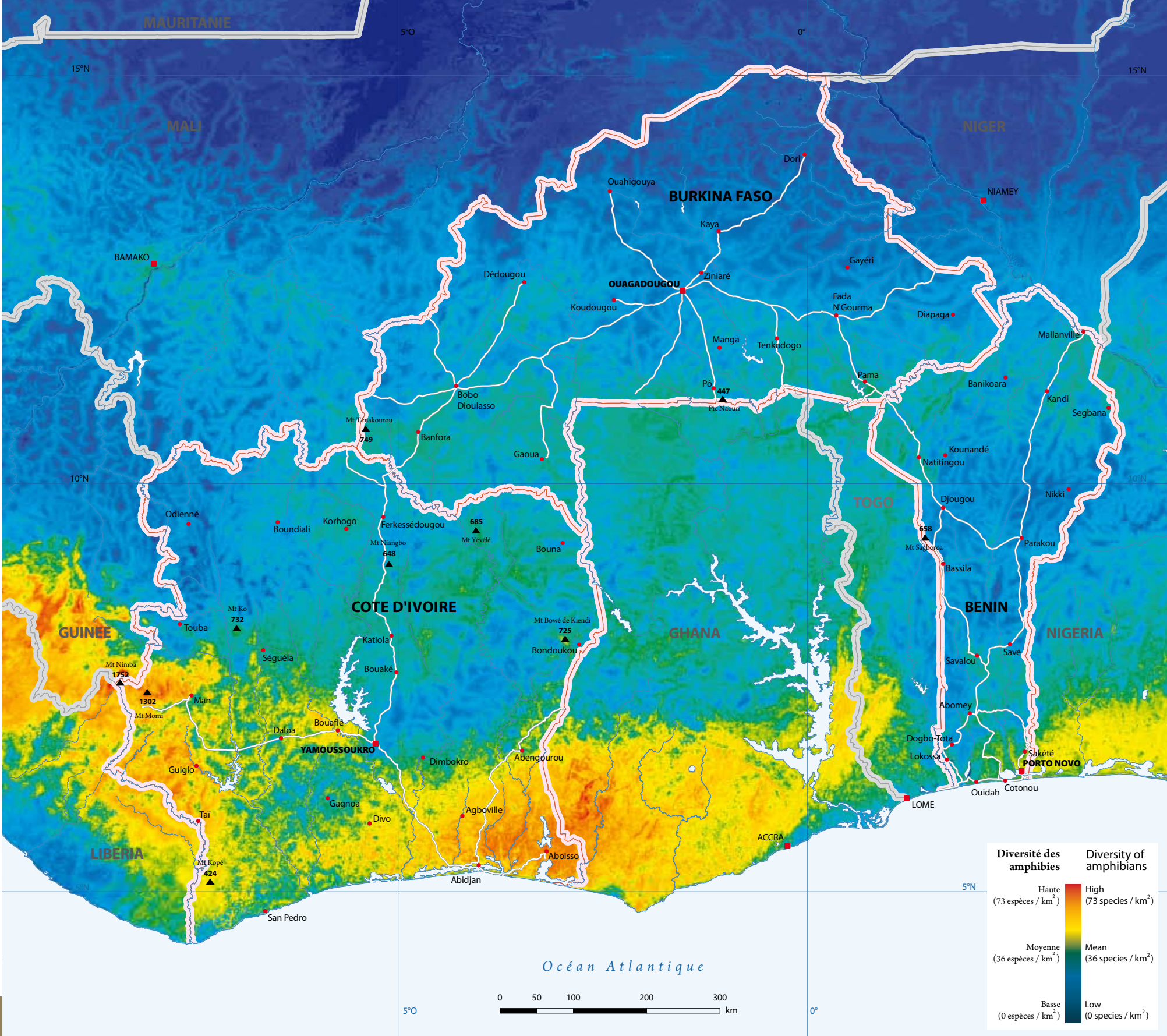
### LA DISTRIBUTION DES ESPECES

La diversité des espèces d'amphibiens en Afrique de l'Ouest n'est pas distribuée de manière uniforme. Les forêts des bas pays de l'Afrique de l'Ouest sont généralement considérées comme des « hotspot » pour la diversité des espèces. Ceci est notamment dû au fait que certaines espèces ne se développent que dans ces zones

a period of nine months they give birth to about 12 toadlets of 7 mm body length.

### SPECIES DISTRIBUTION

The species richness of amphibians in West Africa is not distributed uniformly. The lowland forests of Western Africa are generally considered as a "hotspot" for species diversity. This is mainly due to species which occur only in these particular areas and nowhere else. These are called endemic species. Distributional records are normally only available as points of occurrence. For larger areas it is impossible to say where species occur and where not. One way to estimate where species could live is via statistical modelling. The points of occurrence are set into relation to site conditions of the same areas via repeated calculations of a mathematical formula (iterative algorithm). These relationships are then extrapolated to larger areas. This was done for most West African species and the resulting species richness map with a resolution of 1 km<sup>2</sup> is shown in the map (Map 3.10). There are several areas where there is an overall very high number of species, e.g. the forests of western Ghana and eastern Côte d'Ivoire and the border region of Côte d'Ivoire and



**Carte 3.10:** Modélisation de la carte sur la diversité des espèces d'amphibiens en Afrique de l'Ouest en ayant utilisé une définition d'1km<sup>2</sup>.  
**Map 3.10:** Modelled amphibian species richness in Western Africa using a resolution of 1km<sup>2</sup>.

et nulle par ailleurs. C'est ce que l'on appelle les espèces endémiques. Les quelques archives disponibles sur la distribution ne font souvent références qu'au lieu de la découverte. Dans des zones plus vastes il est impossible d'établir la présence ou l'absence de certaines espèces. Un moyen d'évaluer où pourraient se trouver certaines espèces est l'utilisation des modèles statistiques. Les lieux des occurrences sont mis en relation aux conditions environnementales des sites par une formule mathématique à répétition (algorithme itératif). Ces rapports sont ensuite extrapolés vers des zones plus vastes. Ce procédé a été utilisé pour la plupart des espèces d'Afrique de l'Ouest, et a permis de cartographier la variété des espèces avec une définition de 1km<sup>2</sup>, que l'on peut apprécier sur la carte (Carte 3.10). Il existe plusieurs zones où l'on retrouve un très grand nombre d'espèces, par exemple les forêts à l'Ouest du Ghana et à l'Est de la Côte d'Ivoire mais aussi sur la frontière entre la Côte d'Ivoire et le Libéria. Certaines zones, comme les Monts Nimba, hébergent un très grand nombre d'espèces (jusqu'à présent 67), y compris des espèces rares et à distribution réduite. Une zone importante pour les amphibiens en Afrique de l'Ouest est le Parc National de Taï, au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Il s'agit de la plus grande forêt tropicale protégée en Afrique de l'Ouest, hébergeant presque 60 espèces

Liberia. Some areas, like the Nimba Mountains hold especially high numbers of species (so far 67) including rare and range restricted species. One important area for amphibians in West Africa is the Taï National Park in south-western Côte d'Ivoire. It is the largest protected rain forest in Western Africa and home to almost 60 amphibian species, many of them rare and

d'amphibiens, dont une grande partie rares ou menacées. Les savanes hébergent naturellement moins d'espèces d'amphibiens que les forêts tropicales puisque leurs conditions arides ne sont pas appropriées pour de nombreuses espèces. Cependant, les Parcs Nationaux de Comoé (Côte d'Ivoire) ou de Pendjari (Bénin), qui abritent plus de 30 espèces, sont exceptionnels par rapport à d'autres savanes dans le reste du monde [6], [7].

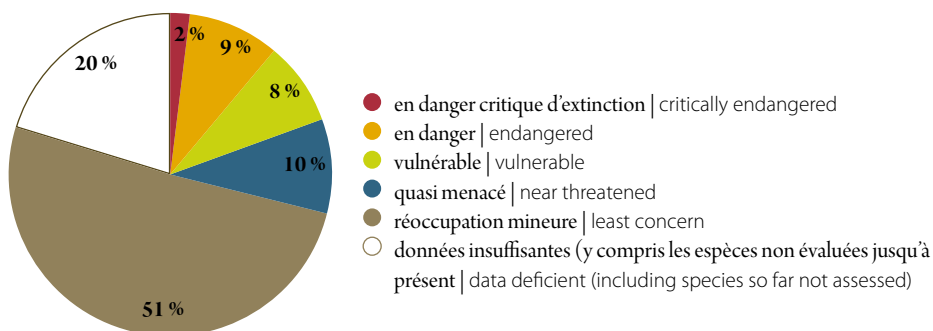
### L'IMPORTANCE ÉCOLOGIQUE

Les espèces d'amphibiens sont des très bons indicateurs d'un environnement sain, c'est-à-dire que l'exploitation forestière sélective à elle seule peut modifier complètement la composition de la **faune**<sup>↗</sup> amphibiens [8]. Cela veut dire qu'ils sont en mesure de signaler une détérioration environnementale avec une certaine anticipation par rapport à d'autres groupes d'organismes donc de nous avertir sur l'imminence de sérieuses menaces, même pour l'homme. Les amphibiens sont aussi importants pour entretenir un **écosystème**<sup>↗</sup> sain. Par exemple, les mares des savanes se dessèchent régulièrement. Les poissons ne peuvent donc pas survivre et ce sont les têtards qui, en consommant une grande quantité d'**algues**<sup>↗</sup>, assurent le bon entretien de la qualité de l'eau pour les animaux et pour

endangered. Savannas naturally harbour fewer amphibian species than rain forests, as the drier conditions are not suitable for many amphibian species. But with more than 30 species the Comoé National Park (Côte d'Ivoire) or the Pendjari National Park (Benin) are especially diverse compared to other savanna habitats around the world [6], [7].

### ECOLOGICAL IMPORTANCE

Amphibians are important indicator species of an intact environment, i.e. even selective logging in rain forests results in a completely altered composition of the amphibian **fauna**<sup>↗</sup> [8]. This is a sign that they can indicate environmental **degradation**<sup>↗</sup> earlier than other groups of organisms and hence point to anticipated threats perilous even for humans. Amphibians are also crucial for maintaining a healthy **ecosystem**<sup>↗</sup>. For example ponds in savanna regions dry out regularly. Fish thus can not survive and tadpoles, eating lots of **algae**<sup>↗</sup>, are the main factor maintaining good water quality for animals and also humans. Predatory tadpoles also reduce the number of mosquito larvae in these waters and hence may control the spreading of diseases transmitted by mosquitoes, such as malaria.



**Fig. 3.17:** Pourcentage d'espèces d'amphibiens menacées en Afrique de l'Ouest. Les catégories telles que définies sur la liste rouge de l'UICN. | Percentage of threatened West African amphibian species. Categories according to IUCN Red List.

l'homme. Les têtards prédateurs réduisent également le nombre de larves de moustiques sur ces eaux et peuvent donc enrayer la propagation de certaines maladies transmises par les moustiques, comme la malaria.

### LES MENACES

De tous les vertébrés, les amphibiens constituent le groupe animal avec le plus fort pourcentage d'espèces menacées dans le monde entier [9]. Plus d'un tiers de toutes les espèces est menacé dans le monde, ce qui vaut également pour l'Afrique de l'Ouest (voir Fig. 3.17). La perte d'habitat est la principale raison de cette régression. De nombreuses forêts sont rasées ou transformées en plantations. Beaucoup d'espèces d'amphibiens étant spécialisée aux certains habitats ou ne pouvant pas s'adapter à un nouvel environnement disparaissent localement. Il existe également un certain nombre de facteurs intervenant dans ce processus, par exemple l'utilisation non durable des grenouilles (voir la case suivante) ou les maladies énigmatiques (**champignons**<sup>?</sup>, virus, etc.). Souvent discuter est le champignon (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Il change les propriétés de peau et est la raison de leur mort. Bien que jusqu'à présent cela ne soit pas déterminant en Afrique de l'Ouest, des études

### THREATS

Of all vertebrates, amphibians are the animal group with the highest percentage of threatened species worldwide [9]. More than one third of all species are threatened globally, which also holds true for West Africa (see Fig. 3.17). The main reason for the current amphibian decline is habitat loss. Many forests are cut down or converted into plantations. Being specialised on certain habitats and not being able to adapt to new environments, many amphibian species become locally extinct. There are also a number of other factors involved in the current decline, e.g. unsustainable use of frogs (see the following box) or enigmatic disease (**fungi**<sup>?</sup>, viruses, etc.). Often discussed is the so called chytrid fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*). It can change the skin properties of the infected frogs and cause their death. So far chytrid does not play a role in West Africa but detailed studies have just started. Global change will certainly affect amphibians in Africa as well. However, the extent and intensity are completely unknown. However, only one thing is certain, the few species which already adapt well to human made changes will profit, but the majority of species will have severe difficulties in dealing with these changes. If we manage to conserve

détaillées sont en cours. Le changement global atteindra aussi très probablement la faune amphibienne en Afrique de l'Ouest. Cependant, nous ne pouvons en prédire ni l'étendue ni l'intensité. Cela dit, une seule chose est certaine, ce sont les espèces qui s'adaptent déjà bien aux changements provoqués par l'homme qui en tireront profit tandis que la plupart des espèces auront beaucoup de mal à supporter ces changements. Si nous arrivons à conserver les habitats importants dans les zones cruciales, c'est-à-dire là où vivent un grand nombre d'espèces endémiques, le sort des amphibiens et des services qu'ils apportent à la nature donc à l'homme, pourraient perdurer sur les prochaines générations.

Ordre scientifique Scientific order	Nom courant Common name	Pattes Legs	Queue Tail	Nombre d'espèces en Afrique de l'Ouest par famille No. species in West Africa per family
Anura	Crapauds et grenouilles Toads and frogs	x		Arthroleptidae: 36 Bufonidae: 20 Dicroglossidae: 1 Hemisotidae: 2 Hyperoliidae: 47 Microhylidae: 1 Petropedetidae: 13 Phrynobatrachidae: 26 Pipidae: 5 Pyxicephalidae: 19 Ranidae: 5 Rhacophoridae: 1
Caudata	Salamandres, tritons Salamanders, newts	x	x	Ne se développent pas en Afrique subsaharienne ; Do not occur in Sub-Saharan Africa
Gymnophiona	Caeciliens Caecilians		x	Caecilidae: 4

**Tab. 3.1:** Nombre d'espèces d'amphibiens en Afrique de l'Ouest par famille. | Number of amphibian species in West Africa, per family.

important habitats in crucial areas, i.e. where many and endemic species live, the chances will be better that most amphibians and the services they provide to nature and hence also to humans, may prevail for upcoming generations.



## Utilisation non durable des grenouilles en Afrique de l'Ouest

Meike MOHNEKE, Mareike HIRSCHFELD, Mark-Oliver RÖDEL

Les grenouilles étaient devenues des animaux très délicieuses en Europe au 16<sup>e</sup> siècle. Ceci est particulièrement dû au fait que leurs cuisses étaient appréciées sur le plan alimentaire. Dans certaines régions, la consommation des grenouilles a presque anéanti les grenouilles vertes européennes (*Pelophylax* spp.). Lorsque la collecte, le trafic et la vente de ces espèces de grenouilles européennes ont été interdits, les pays ont commencé à importer les pattes de grenouilles d'Asie. Conséquence, une tragédie similaire se produit en Inde et certaines espèces ont donc fini par s'éteindre. Les insectes des pépinières de riz commençaient à augmenter et les paysans se voient obligés de se rabattre sur des insecticides très chers et insalubres afin d'éliminer ces insectes, rôle qui autrefois était attribué aux grenouilles.

Par le passé, en Afrique de l'Ouest, les amphibiens étaient attrapés à l'intérieur et aux alentours de certains villages pour la consommation. Très souvent, le seul critère de sélection était la taille et les espèces les plus grosses étaient donc préférées. Comme exemple, dans la province de Gourma aujourd'hui, les grenouilles sont capturées par la population, seulement pour leur propre consommation. Les crapauds (*Amietophrynus maculatus*, *A. regularis*) et les têtards sont également collectés, préparés et vendus dans différents marchés locaux. En plus de leur usage dans l'alimentation, les grenouilles sont également utilisées à des fins médicales. Dans les zones sous-équipées en infrastructures médicales surtout, les populations locales se soignent toujours avec la médecine traditionnelle. Les crapauds sont particulièrement utilisés pour soigner les maladies telles que la coqueluche, les appendicites ou les blessures et plaies ouvertes. La capture des grenouilles se fait depuis les temps anciens et cette pratique était du moins durable.

Au cours des dernières années, la demande en grenouilles va au-delà des habitudes de consommation locales: dans toute l'Afrique de l'Ouest, plusieurs hôtels et restaurants offrent dans leurs menus des cuisses de grenouilles. Au Burkina Faso, par exemple, le commerce des grenouilles est prédominant dans la province de Ganzourgou. De plus, le commerce international des grenouilles en Afrique de l'Ouest semble également avoir beaucoup augmenté. On peut observer aujourd'hui un commerce transfrontalier intense de grenouilles entre le Bénin et le Nigeria [10]. Les espèces de grenouilles scientifiquement appelées *Hoplobatrachus occipitalis* sont particulièrement commercialisées en grand nombre. Les grenouilles sont généralement attrapées dans les plaines d'inondation du Bénin, du Niger et du Tchad, puis transportées vers les grandes villes du Sud du Nigeria où elles sont vendues. Souvent, elles sont séchées ou fumées, mais les consommateurs les préfèrent aussi préparées, frites ou rôties (Fig. 3.18). Les grenouilles sont souvent

capturées durant toute l'année, mais la majorité est attrapée pendant la saison sèche où l'eau des étangs temporaires disparaît et que juste quelques flaques d'eau restent. C'est en ce moment que les grenouilles deviennent faciles à attraper, très souvent même à la main. Pour attraper les grenouilles, surtout en grande quantité, la population utilise différents types d'outils. Hameçons et filets de pêche sont parfois utilisés, très souvent pendant les séances de pêche. Les grenouilles sont capturées en grand nombre à l'aide de nasse, placés le long de la rive pendant la saison sèche. Les grenouilles de l'espèce, *Hoplobatrachus occipitalis* en particulier, sont faciles à attraper pendant cette période. En effet, un collecteur de grenouilles à lui seul peut capturer environ 800 grenouilles en une semaine. Ainsi, dans un village où il y a seulement dix collecteurs, une moyenne de près de 1,6 t de grenouilles est attrapée par mois.

**Conséquences :** Ces chiffres potentiellement élevés montrent une utilisation non durable des grenouilles étant donné que les grenouilles de savanes sont des espèces clés du fonctionnement des eaux temporaires des savanes. La plupart des têtards sont des organismes filtreurs qui permettent d'augmenter la qualité de l'eau. Les têtards d'*Hoplobatrachus occipitalis*, qui font partie des espèces les plus consommées, sont carnivores et se nourrissent de larves de moustiques. La diminution de ces têtards pourrait engendrer une multiplication des moustiques, et ainsi élever le risque de contracter le paludisme. Enfin, les amphibiens adultes consomment souvent de grandes quantités d'insectes parmi lesquels on compte des parasites<sup>2</sup>. Tous ces services de l'écosystème disparaissent lorsque les grenouilles subissent une exploitation non durable. Les populations doivent donc aspirer à une utilisation durable des amphibiens.

## Unsustainable use of frogs in West Africa

In Europe frogs became a delicacy in the 16th century, this concerns especially frog legs. In some regions this appetite nearly wiped out the European green frogs (*Pelophylax* spp.). When collecting, transportation and selling of these European frog species was prohibited, the countries started importing frog legs from Asia. As consequence, a similar tragedy took place in India: some species nearly became extinct. Insect pests in the rice paddies started to increase and farmers had to deal with expensive and unhealthy insecticides, tasks previously done by the frogs.

Traditionally, in West Africa amphibians were mainly harvested and consumed in and around particular villages and often the only selection criteria was size, i.e. larger species were preferred. In the province of Gourma, as an example, frogs are harvested for self-supply only. Also toads (*Amietophrynus maculatus*, *A. regularis*) and tadpoles are collected, prepared and sold on various local markets. Besides as food, frogs are also used for medical treatment. Especially in areas where

there is less medical infrastructure the local population keeps the knowledge of traditional cure. Particularly toads are adopted when curing diseases like whooping cough, appendicitis, or injuries and open wounds. This kind of frog harvest seems to have been done for ages and has most likely been sustainable.

In recent years the demand for frogs, however, has increased above local consumption habits: many hotels and restaurants, all over West Africa, offer frog legs on their menus. In Burkina Faso, for example, commercial frog trade can be found in the province of Ganzourgou. Furthermore, the international frog trade in West Africa has also seemed to increase dramatically. An intense cross-border trade of frogs from Benin to Nigeria can be observed today [10]. Especially frogs of the species *Hoplobatrachus occipitalis* are traded in large amounts. Collected in the floodplains in Benin, Niger and Chad they are exported to Nigeria and transported to the larger cities in the South where they are sold. Usually, these frogs are dried or smoked, but people also like them cooked, fried or roasted (Fig. 3.18). The frogs are often harvested all year round, but the majority is caught during the dry season, when the water in the temporary ponds is disappearing and only small puddles are left. Then the frogs are very easy to catch, often simply by hand. If people want to catch larger quantities, they use different kinds of tools. Hooks and fishing nets are sometimes used, often while catching fish. The highest numbers of frogs are harvested with funnel traps, which are placed in and along riverbanks during the dry season. Especially the larger water frogs like *Hoplobatrachus occipitalis* are an easy hunt during this time. In this way, one frog collector alone can harvest up to 800 frogs in only one week. Hence, in a village with only ten collectors, on average 1.6 t of frogs are harvested per month.

**Consequences:** These potential unsustainable numbers of harvested frogs are frightening as savanna frogs are key-species for the functioning of temporary savanna waters. Most tadpoles are filter-feeders and help maintain water quality high. Especially the tadpoles of the foremost consumed species, *Hoplobatrachus occipitalis*, are carnivorous and feed on mosquito larvae. A decrease of *Hoplobatrachus* tadpoles might result in an increase of mosquitoes, hence a higher risk of Malaria. Finally the amphibian adults usually devour large quantities of insects, amongst them pest species. All these **ecosystem**<sup>7</sup> services are lost when the frogs are harvested in an unsustainable manner. A sustainable use of amphibians should thus be aspired.

**Fig. 3.18:** *Hoplobatrachus occipitalis* éviscéré et séché au soleil à Mallanville, Bénin. | Disemboweled *Hoplobatrachus occipitalis* being sun dried in Mallanville, Benin. MHI



# 3.5

## Les chauves-souris d'Afrique de l'Ouest

Jakob FAHR

Les chauves-souris (Chiroptères) constituent, après les rongeurs, le second plus grand ordre des **mammifères**<sup>?</sup> et comprennent plus de 1 100 espèces (soit près d'un quart de tous les mammifères). Elles sont nocturnes, c'est-à-dire actives pendant la nuit, et sont les seuls mammifères à avoir développé un vol propulsé. Les chauves-souris ont une distribution mondiale avec des écologies extrêmement diverses, des cycles biologiques, des morphologies et des adaptations sensorielles uniques qui leur ont permis d'exploiter une large gamme de niches écologiques.

### CLASSIFICATION

En Afrique, on distingue deux principaux groupes de chauves-souris qui diffèrent par leurs habitudes alimentaires et leur écologie sensorielle.

- Les **roussettes**<sup>?</sup> se nourrissent de fruits aussi bien que de nectar

et comptent sur leur vision (vue) et olfaction (odorat) pour trouver leur nourriture. La taille des espèces africaines varie des petites chauves-souris **nectarivores**<sup>?</sup> à longue langue (*Megaloglossus woermanni*, poids 15g) aux grandes chauves-souris à la tête en marteau (*Hypsignathus monstrosus*, poids 250-420 g, envergure allant jusqu'à 1 m), Fig. 3.19.

- Les chauves-souris **insectivores**<sup>?</sup> sont également connues sous le nom de « chauves-souris écholocalisatrices » du fait de leur faculté à utiliser l'écholocalisation pour se diriger et rechercher leur nourriture constituée principalement d'insectes. Les espèces africaines varient en taille des toutes petites (poids 3 g) aux modérément grandes (poids > 200 g, envergure allant jusqu'à 70 cm).

### HABITUDES ALIMENTAIRES ET IMPORTANCE ECOLOGIQUE

Les chauves-souris jouent un rôle capital dans les **écosystèmes**<sup>?</sup> en tant que disséminateur de graines, pollinisateur de plantes et également **prédateur**<sup>?</sup> d'insectes.

Les **roussettes** se nourrissent de fruits, de nectar et de pollen.

Elles visitent et pollinisent les fleurs d'arbres tels que le baobab

## Bats of West Africa

Bats (Chiroptera) are the second largest order of **mammals**<sup>?</sup> after rodents and comprise more than 1 100 species (about a quarter of all mammals). They are nocturnal, i.e. active during the night, and unique among mammals in having evolved powered flight. Bats have a worldwide distribution with extremely diverse ecologies, life histories, morphologies and unique sensory adaptations that have enabled them to exploit a wide range of ecological niches.

### CLASSIFICATION

In Africa two major ecological groups of bats are found that differ in their feeding and sensory ecology:

- Flying foxes or Old World fruit bats feed on fruit as well as nectar and rely on vision (sight) and olfaction (smell) to find food. The size of African species ranges from the tiny long-

tongued fruit bat (*Megaloglossus woermanni*, weight 15 g) to the very large hammer-headed fruit bat (*Hypsignathus monstrosus*, weight 250-420 g, wingspan up to 1 m), Fig. 3.19.

- Insect bats are also known as "echolocating bats" because of their ability to use echolocation to navigate and to find food, which mainly consists of insects. African species range in size from very small (weight 3 g) to moderately large (weight > 200 g, wingspan up to 70 cm).

### FEEDING HABITS & ECOLOGICAL IMPORTANCE

Bats play critical roles in **ecosystems**<sup>?</sup> as seed dispersers and pollinators of plants as well as **predators**<sup>?</sup> of insects.

**Flying foxes** feed on fruits as well as nectar and pollen. They visit – and thereby pollinate – the flowers of trees such as Baobab (*Adansonia digitata*), African Sausage Tree (*Kigelia africana*), Silk-cotton Tree ("Fromager", *Ceiba pentandra*) and different species of *Parkia* ("Néré"). In West Africa, almost 100 plant species are known to be pollinated or dispersed by flying foxes, including (rain forest-) plants such as Iroko (*Milicia excelsa*), Shea-butter ("Karité", *Vitellaria paradoxa*), figs (*Ficus* spp.), *Anthocleista*

(*Adansonia digitata*), l'arbre à saucisses (*Kigelia africana*), le fromager (*Ceiba pentandra*) et différentes espèces de *Parkia* (« Néré »). En Afrique de l'Ouest, à peu près 100 espèces de plantes (notamment de forêt **ombrophiles**<sup>?</sup>) sont connues comme étant pollinisées ou disséminées par les roussettes, incluant l'Iroko (*Milicia excelsa*), le Karité (*Vitellaria paradoxa*), les figuiers (*Ficus* spp.), *Anthocleista* spp., *Antiaris africana*, *Saccoglottis gabonensis*, *Parinari excelsa*, et *Cola* spp. [11], [12], [13]. La majorité de ces plantes dépend principalement voire exclusivement des roussettes pour leur régénération naturelle. Ainsi, une réduction à long terme de la taille de la population de la roussette paillée *Eidolon helvum*, telle qu'observée en Afrique de l'Est, pourrait avoir des conséquences dramatiques sur la régénération naturelle de l'Iroko (*Milicia excelsa*) [14], un bois dur économiquement important. Les fruits cultivés tels que les bananes, les mangues, les papayes, les pommes de cajou et les goyaves sont également consommés par les roussettes.

La plupart des **chauves-souris écholocalisatrices** se nourrissent d'**arthropodes**<sup>?</sup> comme les insectes. Elles chassent leurs proies de façon opportuniste, c'est-à-dire selon leur abondance à des périodes et des lieux donnés. Une chauve-souris consomme par nuit entre 50 % à 100 % de l'équivalent de sa masse corporelle en insectes.

spp., *Antiaris africana*, *Saccoglottis gabonensis*, *Parinari excelsa*, and *Cola* spp. [11], [12], [13]. The majority of these plants depend mainly or even exclusively on flying foxes for their natural regeneration. For instance, a long-term reduction of the population size of the straw-coloured fruit bats *Eidolon helvum*, as documented in East Africa, might have dramatic consequences for the natural regeneration of the economically important hardwood Iroko (*Milicia excelsa*) [4]. Cultivated fruits such as bananas, mangos, papayas, cashew and guavas are also consumed by flying foxes.

Most **echolocating bats** feed on **arthropods**<sup>?</sup> such as insects. They hunt their prey opportunistically, i.e. those insect species which are most abundant at a given place and time. Each bat consumes between 50 % and 100 % of its body mass in insects each night. Due to this behaviour, bats are important predators of insects and regulators of their densities, thus providing substantial economic benefits through the reduction of pest species in agriculture and forestry. Moreover, they decimate the numbers of insects such as mosquitoes that are vectors of diseases like malaria. Although the majority of African echolocating bats feed on insects, a few species prey on **vertebrates**<sup>?</sup>



3.19



3.20



3.21

**Fig. 3.19:** *Megaloglossus woermanni* & *Hypsignathus monstrosus* JFA

**Fig. 3.20:** *Scotonycteris ophiodon* JFA

**Fig. 3.21:** *Eidolon helvum* JFA

En raison de ce comportement, les chauves-souris sont d'importants prédateurs d'insectes, dont elles régulent les densités, offrant ainsi des retombées économiques substantielles à travers la réduction des ravageurs en agriculture et en foresterie. En outre, elles déciment de nombreux insectes tels que les moustiques qui sont vecteurs de maladies telles que le paludisme. Bien que la majorité des chauves-souris écholocalisatrices d'Afrique se nourrissent d'insectes, quelques espèces se nourrissent de **vertébrés**<sup>7</sup> tels que les rongeurs, les oiseaux, les grenouilles et les poissons. Il est à noter que les espèces se nourrissant de sang (les « vampires ») ne se trouvent qu'en Amérique du Sud.

### REPRODUCTION ET GITES DIURNES

La plupart des chauves-souris d'Afrique mettent bas un seul petit, une ou deux fois par an. Comparées aux autres mammifères de taille similaire, elles se reproduisent très lentement, un fait qui les rend plus vulnérables aux perturbations de l'**habitat**<sup>7</sup> ou à l'exploitation directe. Ce sont également des mammifères longévifs, certaines espèces pouvant atteindre une espérance de vie de plus de 30 ans. Pendant la journée, la plupart des chauves-souris sont inactives (à l'exception des colonies perpétuellement agitées de la chauve-

such as rodents, birds, frogs and fish ("vampires", i.e. species which feed on blood, are restricted to Latin America).

### REPRODUCTION & ROOSTING

Most African bats give birth to a single young one or two times per year. Compared to other mammals of similar body size, they reproduce very slowly, a fact which makes them more vulnerable to **habitat**<sup>7</sup> disturbances or direct exploitation. They are also long-lived mammals, with some species reaching a maximum life span of more than 30 years. During the day, the majority of bats is inactive (a notable exception are the restless colonies of the Straw-coloured Fruit-bat, *Eidolon helvum*, which can be easily observed on the Plateau of downtown Abidjan). Bats roost in a great variety of shelters such as caves, hollow trees, under bark, in attics or under the thatch of houses, between the leaves of trees and bushes.

### BAT SPECIES DIVERSITY IN WEST AFRICA

Compared to other tropical regions such as South America or South-East Asia, diversity of Afrotropical bats was considered to be low. However, recent studies recorded 57 bat species in

souris paillée *Eidolon helvum*, qui peuvent être facilement observées sur le Plateau du centre ville d'Abidjan). Les chauves-souris se reposent dans différents abris tels que des grottes, des arbres creux, des greniers, sous les écorces ou sous les chaumes des toits, entre les feuilles des arbres et des arbustes.

### DIVERSITE SPECIFIQUE DES CHAUVES-SOURIS EN AFRIQUE DE L'OUEST

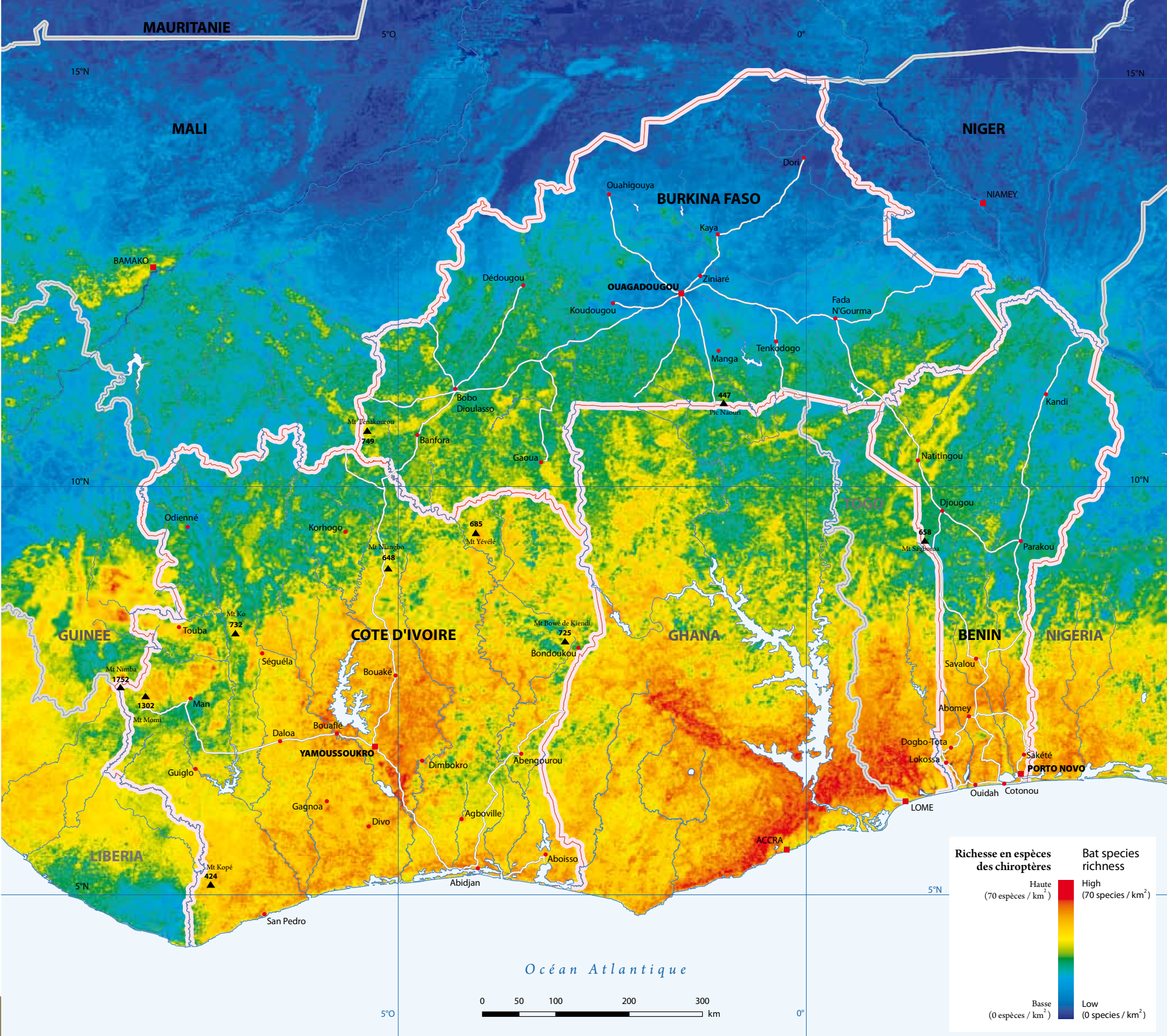
Comparée aux autres régions tropicales de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud-Est, la diversité des chauves-souris afrotropicales était considérée comme faible. Toutefois, de récentes études ont comptabilisé 57 espèces de chauves-souris dans le Parc National de la Comoé, situé au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, et 40 espèces dans le Parc National de Taï situé au Sud-Ouest du pays [15], [16]. Ces assemblages locaux dépassent de loin les chiffres précédemment avancés sur la richesse spécifique en Afrique et réfutent l'hypothèse selon laquelle les communautés afrotropicales de chauve-souris seraient appauvries.

Dans l'ensemble, plus de 270 espèces sont présentes en Afrique, à Madagascar et dans les îles voisines. On en retrouve 232 espèces,

Comoé-National Park of northeastern Côte d'Ivoire, and 40 species in Taï-National Park in the southwestern part of the country [15], [16]. These local assemblages by far exceed previous figures of species richness in Africa and refute the claim that Afrotropical bat communities are impoverished.

Overall, more than 270 species occur in Africa, Madagascar, and the surrounding islands. On the African continent, 232 species, 52 genera and 9 families of bats are found. In Côte d'Ivoire, 87 species have been recorded until now but more than 100 species are likely to occur [15]. Bat diversity in Benin and Burkina Faso is considerably lower, with a current total of 53 and 51 species, respectively. Due to their nocturnal activity patterns and ability to fly, complete inventories of bats require substantial sampling effort, hence most regional, national or local species lists are far from complete and even species new to science are regularly discovered (see chapter 10.5).

In addition to studies of local bat communities, available distribution data from literature, museum collections, and recent field surveys have been combined in a comprehensive database. These distribution data have been used to model the potential distribution of 120 bat species with a spatial resolution



**Carte 3.11:** Carte de la diversité spécifique modélisée des espèces de chauves-souris en Afrique de l’Ouest avec une résolution d’1 km<sup>2</sup>.  
**Map 3.11:** Map of modelled bat species richness in West Africa with a resolution of 1 km<sup>2</sup>.

appartenant à 52 genres et 9 familles, sur le continent africain. En Côte d'Ivoire, 87 espèces sont répertoriées à ce jour, mais les prévisions dépassent 100 espèces [15]. La diversité des chauves-souris du Bénin et du Burkina Faso est considérablement plus faible, avec des totaux de 53 et 51 espèces, respectivement. Du fait de leurs activités nocturnes et de leur capacité à voler, un inventaire complet des chauves-souris requiert un effort d'échantillonnage substantiel. C'est pourquoi la plupart des listes d'espèces régionales, nationales ou locales sont loin d'être complètes et de nouvelles espèces continuent d'être découvertes (voir chapitre 10.5).

En plus des études sur les communautés locales de chauves-souris, les données de distribution disponibles dans la littérature et les collections de musée ainsi que celles provenant de récents échantillonnages sur le terrain ont été réunies en une base de données complète. Ces données de distribution ont été utilisées pour modéliser la distribution potentielle de 120 espèces de chauves-souris avec une résolution spatiale de 1 km<sup>2</sup> dans toute l'Afrique de l'Ouest (voir carte 3.11). Selon ces résultats de modélisation,

l'hétérogénéité<sup>7</sup> de l'habitat est le facteur clé expliquant la diversité des chauves-souris. Ceci est particulièrement évident dans la zone de transition Guinéo-Congolaise / Soudanienne (voir carte 3.1 du Chapitre 3.1 « Végétation de l'Afrique de l'Ouest »), entre les forêts denses du sud et les savanes humides du nord (par exemple au centre de la Côte d'Ivoire, ou au centre-sud du Ghana). Là, des mosaïques d'habitats complexes d'îlots forestiers et de forêts galeries enchâssées dans des formations de savane ouverte abritent une grande richesse d'espèces qui, selon les prévisions, dépasserait même celle observée dans les forêts denses humides. Par conséquent, les biomes de transition et les écotones caractérisés par des mosaïques d'habitats doivent bénéficier d'une attention accrue dans les stratégies de conservation. On trouve également un nombre élevé d'espèces de chauves-souris dans les régions montagneuses telles que le Mont Nimba entre la Côte d'Ivoire, le Libéria et la Guinée ou les hautes terres de la Volta entre le Ghana et le Togo. En plus de leur forte diversité, ces régions montagneuses abritent également un grand nombre d'espèces menacées à aires de répartition restreintes



**Fig. 3.22:** *Nanonycteris veldkampii* se nourrissant de *Cola cordifolia*. | *Nanonycteris veldkampii* feeding on *Cola cordifolia*. IAR

(espèces endémiques ou à distribution réduite), ce qui en fait des zones d'importance particulière en vue de stratégies de conservation efficaces.

Comparativement à l'Europe, l'Amérique du Nord ou l'Australie, les mesures et lois spécifiques sur la conservation des chauves-souris sont rares dans les pays africains. Une attention particulière devrait être accordée à la préservation à long terme d'habitats essentiels, la protection spécifique d'importants sites de repos tels que les grandes grottes et le contrôle de l'application des **pesticides**<sup>7</sup> en agriculture.

### MENACES

Plus d'un tiers des espèces de chauves-souris rencontrées en Afrique sont considérées comme menacées selon la Liste Rouge Internationale [17]. La proportion d'espèces menacées est plus importante chez les chauves-souris que dans la plupart des autres groupes de mammifères. Ceci est dû à de nombreux facteurs, notamment la destruction des habitats, la sensibilité aux pesticides, le faible taux de reproduction, la spécificité des besoins en gîtes et l'exploitation directe.

of 1 km<sup>2</sup> throughout West Africa (see Map 3.11). According to the modelling results, habitat **heterogeneity**<sup>7</sup> is a key factor driving bat diversity. This is particularly evident in the Guinean-Congolian/Sudanian transition zone (See Map 3.1 in "Vegetation of West Africa", chapter 3.1) between the rain forest zone in the south and humid savannas in the north (e.g. central Côte d'Ivoire, south-central Ghana). Here, a complex habitat mosaic of forest islands and gallery forests embedded in open savanna formations supports very high levels of species richness, which are even predicted to exceed those found in closed rain forest. Accordingly, biome transitions and ecotones characterized by habitat mosaics should receive increased attention in conservation strategies. High numbers of bat species are also found in mountainous regions such as the Nimba Mountains between Côte d'Ivoire, Liberia and Guinea or the Volta Highlands between Ghana and Togo. In addition to being very diverse, these mountainous regions also support a high number of threatened species with small distribution ranges (endemic or range-restricted species) that are of particular relevance for effective conservation strategies.

Compared to Europe, North America or Australia, specific

Trois exemples sont illustratifs :

- La chauve-souris à face d'arlequin, *Scotonycteris ophiodon* (Fig. 3.20), globalement classée comme «vulnérable» dépend des forêts denses non perturbées. Au sein des trois pays considérés ici, cette espèce n'est seulement rencontrée de nos jours qu'au Parc National de Tai en Côte d'Ivoire. Son aire de distribution initiale a été sérieusement réduite du fait des pertes extensives et de la **dégradation**<sup>7</sup> de la zone des forêts denses [18].
- La roussette paillée (*Eidolon helvum*, Fig. 3.21) migre annuellement sur une distance de près de 2000 km [19]. Pendant la saison sèche, ces chauves-souris **frugivores**<sup>7</sup> se rassemblent en énormes colonies dans les grandes villes le long des côtes ouest-africaines comme Abidjan, Accra et Freetown. Là, ainsi qu'au cours de leurs migrations, elles sont largement exploitées pour leur viande [20] et parfois tuées en grand nombre lorsqu'elles sont considérées comme une nuisance.
- Très préoccupante est la situation des espèces à aires de distribution exceptionnellement limitée, comme la chauve-souris à nez feuillé de Lamotte, *Hipposideros lamottei*, uniquement connue du Mont Nimba. Cette chaîne de montagnes est, ces derniers temps, convoitée par des compagnies minières

measures as well as laws for the conservation of bats are lacking in most African countries. Particular attention should be given to the long-term preservation of critical habitat, the specific protection of important roosting sites such as large caves, and the controlled application of **pesticides**<sup>7</sup> in agriculture.

### THREATS

More than one third of the bat species occurring in Africa are considered threatened according to the international Red List [17]. The proportion of threatened species is larger for bats than for most other mammal groups. This is caused by multiple factors, which include habitat destruction, susceptibility to pesticides, low reproductive rates, special roosting requirements, and direct exploitation. Three examples:

- The harlequin fruit bat, *Scotonycteris ophiodon* (Fig. 3.20), globally listed as "Vulnerable", depends on undisturbed rain forest. Within the three focus countries, this species is nowadays only known from Tai-National Park in Côte d'Ivoire. Its former distribution range has been greatly reduced due to extensive loss and **degradation**<sup>7</sup> of the rain forest zone [18].





3.23



3.24



3.25



3.26



3.27



3.28



3.29



3.30

**Tab. 3.2:** Sélection des espèces de chauves-souris en Afrique de l'Ouest. | Selected bat species in West Africa.

		Poids   Weight (g)	Burkina Faso	Bénin	Côte d'Ivoire	
3.23	<i>Epomophorus gambianus</i>	70-140	x	x	x	JFA
3.24	<i>Epomops buettikoferi</i>	95-200			x	IAR
3.25	<i>Glauconycteris poensis</i>	5-10		x	x	JFA
3.26	<i>Hipposideros caffer</i>	6-10	x	x	x	JFA
3.27	<i>Hipposideros jonesi</i>	5-9	x	x	x	JFA
3.28	<i>Kerivoula cuprosa</i>	4-5			x	JFA
3.29	<i>Myonycteris torquata</i>	30-60		x	x	JFA
3.30	<i>Neoromicia tenuipinnis</i>	3-5			x	JFA
3.31	<i>Nycteris intermedia</i>	7-9			x	JFA
3.32	<i>Rousettus aegyptiacus</i>	85-170	x	x	x	PNA



3.31

internationales bien que classée comme Patrimoine Mondial et Réserve de la **Biosphère**<sup>7</sup>. En conséquence, cette espèce a été classée comme « en danger critique d'extinction » dans la Liste Rouge de l'UICN étant donné que la probabilité qu'elle s'éteigne dans un proche avenir est très élevée.



3.32

- The straw-coloured fruit bat (*Eidolon helvum*, Fig. 3.21) annually migrates up to 2 000 km [19]. During the dry season, these fruit bats congregate in enormous colonies in large cities along the West African coast such as Abidjan, Accra, and Freetown. There as well as during their migration, they are heavily exploited for bushmeat [20], and sometimes killed in large numbers when considered a nuisance.
- Highly concerning is the situation for species that are restricted to exceptionally small distribution ranges. Lamotte's leaf-nosed bat, *Hipposideros lamottei*, is only known from Mt. Nimba. This mountain range is currently targeted by international mining companies despite being protected as a World Heritage Site and **Biosphère**<sup>7</sup> Reserve. Consequently, this species has been ranked as "Critically Endangered" by the IUCN Red List as the likelihood of going extinct in the near future is very high.

## BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE 3

### REFERENCES CHAPTER 3

- [1] White F. 1983: The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. UNESCO, Paris.
- [2] Lambin E, Geist H, Rindfuss R. 2004: Land-use change and land-cover change. Developing and implementing an agenda for local processes with global impacts. Update-Newsetter of the international human dimension programme on global environment change Nr. 3/2005 "Land-use and Land-cover change"
- [3] Lambin EF, Lindermann M. 2006: Time series of remote sensing for land cover change science. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 44.
- [4] Landmann T, Machwitz M, Le B, Desta L, Vlek P, Dech S, Schmidt M. 2008: A land cover change synthesis study for the GLOWA Volta Basin in West Africa using time trajectory satellite observations and cellular automation models. Proceedings of the IGARSS, July 6th-11th 2008, Boston, pp. III-640 - III-643.
- [5] Rödel M-O, Kosuch J, Grafe TU, Boistel R, Asseman NE, Kouamé NG, Tohé B, Gourène G, Perret J-L, Henle K, Tafforeau P, Pollet N & Veith M. 2009: A new tree-frog genus and species from Ivory Coast, West Africa (Amphibia: Anura: Hyperoliidae). Zootaxa, 2044, 23-45.
- [6] Rödel M-O & Spieler M. 2000: Trilingual keys to the savannah-anurans of the Comoé National Park, Ivory Coast. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A, 620, 1-31.
- [7] Nago SGA, Grell O, Sinsin B & Rödel M-O. 2006: The amphibian fauna of the Pendjari National Park and surroundings, northern Benin. Salamandra, 42, 93-108.
- [8] Ernst R, Linsenmair KE & Rödel M-O. 2006: Diversity erosion beyond the species level: Dramatic loss of functional diversity after selective logging in two tropical amphibian communities. Biological Conservation, 133, 143-155.
- [9] Stuart S, Hoffman M, Chanson J, Cox N, Berridge R, Ramani P & Young B. 2008: Threatened amphibians of the World. Lynx Editions, Barcelona.
- [10] Mohneke M, Onadoko AB, Hirschfeld M & Rödel M-O (2010): Dried or fried: amphibians in local and regional food markets in West Africa. – TRAF-FIC Bulletin 22, 117-128.
- [11] Marshall AG. 1985: Old World phytophagous bats (Megachiroptera) and their food plants: A survey. Zool. J. Linn. Soc. 83, 351-369.
- [12] Ebigbo NM. 2004: The Role of Flying Foxes as Seed Dispersers on the Vegetation Dynamics in a West African Forest-Savannah Mosaic in Côte d'Ivoire. Ph.D. dissertation, Ulm University.
- [13] Pettersson S. 2005: Bats and Bat Flowers in a West African Rainforest Community. Botanical Institute, Göteborg University, Göteborg.
- [14] Taylor DA. 2000: Ghana's treetop bats. Bats 18, 1-4.
- [15] Fahr J. 2008: Diversity Patterns and Taxonomy of West African Bat Assemblages: Effects of Spatial Scale and Habitat Structure. Ph.D. dissertation, Ulm University.
- [16] Fahr J & Kalko EKV. 2010: Biome transitions as centres of diversity: Habitat heterogeneity and diversity patterns of West African bat assemblages across spatial scales. *Ecography*, 33, doi: 10.1111/j.1600-0587.2010.05510.x
- [17] IUCN. 2008: 2008 IUCN Red List of Threatened Species. <www.redlist.org>
- [18] Bakarr M, Oates JF, Fahr J, Parren MPE, Rödel M-O & Demey R. 2004: Guinean forests of West Africa, in: Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, (eds. Mittermeier, RA, Robles Gil P, Hoffman M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, Lamoreux J & Da Fonseca GAB), 123-130. CEMEX & Conservation International, Mexico City & Washington, D.C.
- [19] Thomas DW. 1983: The annual migrations of three species of West African fruit bats (Chiroptera: Pteropodidae). *Can. J. Zool.* 61, 2266-2272.
- [20] Mickleburgh SP, Waylen K & Racey PA. 2009: Bats as bushmeat: A global review. *Oryx* 43, 217-234.

## LECTURES SUPPLÉMENTAIRES | FURTHER READING

### Fragmentation | Fragmentation

- Fahrig L. 2003: Effects of habitat fragmentation on biodiversity Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 34, 487-515.
- Bender DJ, Contreras TA & Fahrig L. 1998: Habitat loss and population decline: A meta-analysis of the patch size effect *Ecology*, 79, 517-533.
- Debinski DM. 2006: Forest fragmentation and matrix effects: the matrix does matter *Journal of Biogeography*, 33, 1791-1792
- Kindlmann P. & Burel F. 2008: Connectivity measures: a review *Landscape Ecology*, 23, 879-890.
- Hanski I & Ovaskainen O. 2000: The Metapopulation capacity of a fragmented landscape *Nature*, 404, 755-758.
- Kindlmann P. & Burel F. 2008: Connectivity measures: a review *Landscape Ecology*, 23, 879-890.
- Hanski I & Ovaskainen O. 2000: The Metapopulation capacity of a fragmented landscape *Nature*, 404, 755-758.

### Amphibiens | Amphibians

- Rödel M-O. 2000: Herpetofauna of West Africa, Vol. I: Amphibians of the West African savanna. Edition Chimaira, Frankfurt/M.
- Schiotz A. 1999: Treefrogs of Africa. Edition Chimaira, Frankfurt/M.
- Duellman WE & Trueb L. 1986: *Biology of Amphibians*. McGraw, Hill, New York.

- Wells KD. 2007: The ecology and behaviour of amphibians. – University of Chicago Press, Chicago.
- Schiotz A. 1999: Treefrogs of Africa. – Edition Chimaira, Frankfurt/M.
- Stuart S, Hoffman M, Chanson J, Cox N, Berridge R, Ramani P & Young B. 2008: Threatened amphibians of the World. – Lynx Editions, Barcelona.
- Wells KD. 2007: The ecology and behaviour of amphibians. University of Chicago Press, Chicago.

**Chauves souris | Bats**

- Altringham JD. 1996: Bats: Biology and Behaviour. Oxford University Press, Oxford.
- Crichton EG & Krutzsch PH (eds). 2000. Reproductive Biology of Bats. Academic Press, San Diego. xii+510 pp.
- Kunz TH & Fenton MB (eds). 2003: Bat Ecology. University of Chicago Press, Chicago. xxii+779 pp.
- Kunz TH & Parson S (eds). 2009: Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats. John Hopkins University Press, Baltimore. xvii+901 pp.
- Simmons NB. 2005: Order Chiroptera, in: Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference, Vol. 1, (eds. Wilson, D. E. & Reeder, D. M.), 312-529. John Hopkins University Press, Baltimore. xxxviii+743 pp.