



2 Déterminismes environnementaux de la biodiversité en Afrique de l'Ouest

Driving forces for biodiversity in West Africa

La biodiversité ouest africaine est composée d'une grande diversité d'organismes appartenant à presque tous les grands taxons connus sous les tropiques. Cette riche biodiversité se retrouve dans divers écosystèmes qui ont été façonnés depuis des siècles par les changements climatiques passés et actuels. Mais depuis le début du 20^{ème} siècle, les effets de la forte croissance démographique et les activités anthropiques liées à l'utilisation accrue des terres qui l'accompagnent exercent une énorme pression sur ces écosystèmes, ce qui les déséquilibre et les rend vulnérables. L'état de la biodiversité et les menaces pesant sur elle sont similaires dans tous les pays de l'Afrique de l'Ouest ; par conséquent les trois pays concernés par les données de cet Atlas sont assez représentatifs de la situation qui prévaut dans la sous-région. Ce chapitre est subdivisé en cinq parties et donne un aperçu de l'état actuel de la biodiversité en Afrique de l'Ouest comparé à la situation qui prévaut au niveau mondial. La pression démographique des quelques 40 millions d'habitants du Bénin, du Burkina Faso et la Côte d'Ivoire, assez manifeste par leurs activités économiques telles que l'agriculture itinérante, le pâturage, la pêche, le commerce, les transports, les communications, les activités industrielles, l'extraction minière, l'énergie, etc. et leurs impacts sur les composantes de la biodiversité (végétation, sol, faune) sont présentés dans ce chapitre. Le rôle primordial du feu comme outil essentiel de gestion des écosystèmes de savanes (affectant 80 % de toute la savane africaine) y est présenté plus en détail ; en particulier les effets des feux de végétation sur la structure de la végétation et sur l'équilibre entre les biomasses fourragères herbacées et arboricoles dans les savanes y ont été bien décrits.

West African biodiversity is composed of a rich diversity of organisms that belong to most of the higher taxa known for the tropics. This rich biodiversity is found in diverse ecosystems which have been shaped for centuries by past and current climate changes. But since the beginning of the last century, the effects of an increasing human population growth rate have changed anthropogenic activities, predominately land use, into a pressure in progress in unbalancing these ecosystems. The state of biodiversity and the current threats thereon can be well observed in all countries of West Africa. Consequently, the three countries concerned by the research output presented here are duly representative of the biodiversity crisis at hand. This chapter, subdivided into five parts, presents an overview of the current state of biodiversity in West Africa in comparison to the world's situation. The possibilities and opportunities for sustainable development that biodiversity offers to achieve the United Nations millennium development goals (MDGs) are discussed. The demographic pressure caused by nearly 40 million people living in Benin, Burkina Faso, and Côte d'Ivoire in combination with economic activities such as extensive agriculture, grazing, fishing, commerce, transportation, communication, industries, mining, energy etc. and their impact on biodiversity components (vegetation, soil, wildlife) are presented. The role of fire as essential driving factor of savanna ecosystems, affecting 80 % of the total savannas in Africa is presented in more detail. A special focus is laid on its effect on vegetation structure and mitigating the balance between grass and trees biomass in savannas.

Fig 2.0 : Production de coton au Bénin. | Cotton production in Benin. MBO



2.1

Diversité biologique de l'Afrique de l'Ouest : Importance, menaces et valorisation

Souleymane KONATÉ
K. Eduard LINSENMAIR

INTRODUCTION

Malgré des changements plus ou moins marqués de son environnement physique depuis près de quatre milliards d'années, la vie se développe et se maintient à la surface de la terre grâce à sa capacité à s'adapter et donc à se diversifier. La diversité biologique ou **biodiversité**⁷ est donc un phénomène dynamique, lié à l'évolution de la vie sur terre, qui peut se définir comme la variété et la variabilité des organismes vivants de la planète et de leurs interactions. Elle englobe de ce fait tous les niveaux d'expression de la variation des êtres vivants, des **gènes**⁷ aux **écosystèmes**⁷ en passant par les espèces et les communautés. Cependant, cette définition de la diversité biologique, formulée et utilisée essentiellement par les biologistes, ne saurait cerner toute la complexité du concept de biodiversité. Elle échappe désormais au seul champ des sciences de la nature pour se situer à l'interface entre la nature et la société, du fait des nombreux

Biological diversity of West Africa: Importance, threats and valorisation

INTRODUCTION

Despite the more or less marked changes in its physical environment over the last four billion years, life develops and is maintained on the Earth's surface thanks to its ability to adapt and diversify itself. Biological diversity or **biodiversity**⁷ is thus a dynamic phenomenon connected to the evolution of life on Earth that can be defined as the variety or variability of organisms living on the planet and their interactions. It encompasses all levels of variation of living beings, from **genes**⁷ to species, communities and to **ecosystems**⁷. However, this definition of biological diversity, formulated and used mainly by biologists, cannot pinpoint the whole complexity of the biodiversity concept. Moreover, it reaches beyond the field of natural sciences to attain an important role at the interface of nature with society due to the numerous stakes and conflicts

enjeux et conflits d'intérêts liés à l'exploitation des ressources naturelles biologiques.

Les dernières décennies du XX^e siècle se caractérisent par l'émergence de problèmes environnementaux graves. Il s'agit notamment de l'érosion de la diversité biologique, de l'accroissement continu de la pollution et de la menace du **changement climatique**⁷ accéléré, dont la manifestation la plus directe est la variabilité climatique actuelle.

La perte de la diversité biologique, qui est également liée à l'accroissement de la pollution et au changement climatique, est essentiellement due aux activités humaines. Celle-ci peut avoir des causes différentes selon les types de sociétés et leurs modes de développement.

Dans les pays du Sud, elle date des premières décennies qui ont suivi la période des indépendances. Cette période se caractérise essentiellement par les effets cumulés de la pratique d'une agriculture intensive et très souvent non durable, l'exploitation anarchique des massifs forestiers, la croissance démographique élevée, la pauvreté et, plus récemment, l'urbanisation et l'industrialisation.

L'érosion effrénée de la biodiversité constitue une menace certaine pour le maintien des services écosystémiques dont dépendent

of interest connected with the exploitation of natural biological resources.

The last decades of the 20th century were characterized by the emergence of grave environmental problems. An especially severe problem is the erosion of biological diversity, foremost due to **habitat**⁷ transformation, the continuous increase of pollution, and the threat of an accelerating **climate change**⁷ of which we are currently observing an unusually strong climate variability.

The loss of biological diversity, essentially linked to human activities, can have different causes according to the types of societies and their mode of development. In the countries of the Southern hemisphere, the loss of biodiversity dates from the first decades following the period of independence. This period is characterized by the cumulative effects of practicing intensive and mostly unsustainable agriculture, uncontrolled, reckless exploitation of vast forests, increasing demographic growth, poverty and, more recently, urbanization and industrialization.

This increasing erosion of biological diversity constitutes a serious threat for the maintenance of ecosystem services which

entièrement la qualité et le maintien de la vie humaine sur terre. Cette réalité est bien soulignée dans les Objectifs du Millénaire des Nations Unies et notamment à travers l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (voir encadré). En effet, selon le rapport sur l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire [1], les biens et services rendus par les écosystèmes, c'est-à-dire les bénéfices tirés des écosystèmes par les populations humaines, peuvent être rangés en quatre principales catégories (Fig. 2.1) :

- Les services de prélèvement tels que la nourriture, l'eau, le bois et les fibres;
- Les services de régulation tels que les régulations du climat, des inondations, des maladies, des déchets et de la qualité de l'eau;
- Les services culturels tels que les bénéfices spirituels, récréatives et esthétiques;
- Les services d'auto-entretien (de support) tels que la **photosynthèse**, la formation des sols et les cycles des nutriments.

Face à de telles menaces et sous la pression conjointe d'une opinion publique de plus en plus sensible aux problèmes environnementaux et d'ONGs très engagées ; de nombreuses conférences au niveau international (Stockholm 1972, Rio de Janeiro 1992, Johannesburg

determine the quality of human life on Earth and eventually our existence. This reality is well underlined by the UN Millennium goals and especially through the evaluation of the ecosystems for the Millennium Assessment (see following box). According to the reports on the evaluation of the Millennium Assessment in 2005 [1], the goods and services provided by the ecosystems, i.e. the benefits gained from ecosystems by the human population, can be classified in four main categories (Fig. 2.1):

- Provisioning services such as food, water, wood, fiber, ect.
- Providing services such as climate regulation, water flow, disease control, waste decomposition, and water purification.
- Cultural services such as spiritual benefits, recreational and aesthetic values.
- Supporting services such as **photosynthesis**, soil formation and nutrient cycling.

Faced with these threats and under both the pressure from public opinion which is increasingly sensitive to environmental problems, and also under the pressure of engaged NGOs numerous international conferences (Stockholm 1972, Rio de

2002, Paris 2008 et Nagoya 2010) ont soulignées la nécessité de promouvoir une gestion durable des ressources naturelles. Cette nécessité concerne au premier plan les pays africains qui renferment l'essentiel de ces ressources biologiques et dont l'économie et le développement reposent essentiellement sur ces ressources.

Quelle est l'importance de la biodiversité en Afrique et quels sont les menaces qui pèsent sur elle ? Comment les nations africaines peuvent-elles concilier leurs besoins urgents de développement socio-économique et la nécessité absolue de préserver la biodiversité dont l'exploitation, non durable jusqu'à ce jour, constitue le fondement de ce développement ? Comment la biodiversité peut elle contribuer à la réalisation de l'objectif de développement durable visé par les pays africains ?

Telle est la problématique essentielle qui sera abordée dans cet article, à travers l'exemple de l'Afrique de l'Ouest. Dans la première partie, l'état de biodiversité en Afrique de l'Ouest sera présenté, à travers son importance et les menaces qui pèsent sur elle. En seconde partie, les potentialités et les opportunités de développement durable offertes par cette biodiversité seront analysées.

Janeiro 1992, Johannesburg 2002, Paris 2008 and Nagoya 2010) underlined the need to promote sustainable management of natural resources. This need concerns first of all African countries that house a large proportion of these biological resources and whose economies and development rely strongly on these resources.

What is the importance of biodiversity in Africa and what are the main threats for biodiversity? How can African nations reconcile their urgent needs for socioeconomic development and the absolute need to conserve their biodiversity when the exploitation - unsustainably up-to-date - of it constitutes the foundation of Africa's development? How can biodiversity management contribute to the realization of the sustainable development goals targeted by African countries?

These are the essential questions that will be addressed in this article using the example of West Africa. The first part of this article is an overview of the state of biodiversity in West Africa presented by its importance and its threats. In the second part, the potentials and opportunities for sustainable development that biodiversity management offers will be analyzed.

VIE SUR TERRE - BIODIVERSITÉ
LIFE ON EARTH - BIODIVERSITY

SERVICES FOURNIS PAR LES ÉCOSYSTÈMES
ECOSYSTEM SERVICES

Auto-entretien
Supporting

- cycle nutritif | nutrient cycling
- formation du sol | soil formation
- production primaire | primary production
- ...

Approvisionnement
Provisioning

- nourriture | food
- eau douce | fresh water
- bois et fibre | wood and fibre
- combustibles | fuel
- ...

Régulation | Regulating

- régulation du climat | climate regulation
- régulation des inondations | flood regulation
- régulation des maladies | disease regulation
- purification de l'eau | water purification
- ...

Culturel | Cultural

- esthétique | aesthetic
- spiritualité | spiritual
- éducation | educational
- loisirs | recreational
- ...

CONSTITUANTS DU BIEN-ÊTRE
CONSTITUENTS OF WELL-BEING

Sécurité | Security

- sécurité personnelle | personal safety
- accès sécurisé aux ressources | secure resource access
- protection contre les désastres | security from disasters.

Éléments essentiels à une vie satisfaisante | Basic material for good life

- moyen d'existence adéquats | adequate livelihoods
- apports nutritifs suffisants | sufficient nutritious food
- abri | shelter
- accès aux biens | access to goods...

Santé | Health

- force | strength
- forme | feeling well
- accès à un air et une eau propres | access to clean air and water

Bonnes relations sociales
Good social relations

- cohésion sociale | social cohesion
- respect mutuel | mutual respect
- capacité à aider les autres | ability to help others

Liberté de choix et d'action
Freedom of choice and action

Possibilité d'agir et de vivre selon ses valeurs individuelles | Opportunity to be able to achieve what an individual values doing and being

Couleur des flèches | Arrow's colour

Influence possible de facteurs socio-économiques | Potential for mediation by socio-economic factors

-  faible | weak
-  moyenne | medium
-  forte | strong

Épaisseur des flèches | Arrow's width

Intensité des liens entre les services fournis par les écosystèmes et le bien-être humain.
 Intensity of linkages between ecosystem services and human well-being




-  faible | weak
-  moyenne | medium
-  forte | strong

Fig. 2.1: Liens entre les services des des écosystèmes et le bien-être humain [1] | Linkages between Ecosystem Services and Human Well-being. [1]

(c) UNEP/CBD/SBTTA. 2005. Millenium Ecosystem Assessment. Modified.

ETAT DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

IMPORTANCE DE LA BIODIVERSITE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

La **biodiversité**⁷ est une entité complexe qui intègre différents niveaux d'organisation du vivant (les gènes, les espèces, et les **écosystèmes**⁷). L'estimation des dimensions de cette biodiversité par les méthodes actuelles reste insuffisante, notamment pour les organismes de petites tailles (microbes, insectes, ...).

Au niveau mondial, près de 2 millions d'espèces vivantes sont décrites à ce jour sur un nombre total minimum d'organismes vivants estimé à environ 10 millions d'espèces [2]. Cependant, la majorité des espèces décrites reste encore mal connue du point de vue de leur biologie, de leur écologie et surtout de leurs utilisations possibles pour le bien être de l'Homme.

Du fait de leur localisation géographique et des conditions climatiques actuelles et passées (périodes de glaciation successives), les écosystèmes tropicaux renferment l'essentiel de la diversité biologique actuelle. C'est le cas des forêts tropicales humides qui ont

constituées de véritables refuges pour la **faune**⁷ et la **flore**⁷ lors de la dernière période glaciaire au pléistocène et qui, avec seulement 7 % de la surface **terrestre**⁷ totale, renferment plus de 50 % des espèces décrites [3].

La sous région ouest africaine, qui s'étend sur environ 6 million km² (c'est à dire 1/5e du continent africain) avec une population de plus de 200 millions d'habitants, possède une importante diversité biologique. Cette biodiversité peut être caractérisée par deux phénomènes essentiels. Il s'agit de la présence d'une importante **hétérogénéité**⁷ spatiale, notamment orographique, qui conduit à une grande diversité des écosystèmes. La deuxième caractéristique principale de cette sous région est l'existence de la forêt de Haute Guinée (région du Golf de Guinée) qui fait partie des «hotspots» de biodiversité (zones prioritaires de conservation de biodiversité) et qui constitue l'un des derniers sanctuaires de la diversité biologique ouest africaine (Carte 2.1 & 2.2).

STATE OF BIOLOGICAL DIVERSITY IN WEST AFRICA

IMPORTANCE OF BIODIVERSITY IN WEST AFRICA

Biodiversity⁷ is a complex entity that integrates different levels of organization of the living (of which the main levels are: genes, species and **ecosystems**⁷). The estimation of its dimensions by current methods remains insufficient especially for organisms of small size (microbes, insects, ...).

At a global level, nearly two million living species have been described up to date, compared to an estimated minimum total of around 10 million species [2]. However, also the majority of species described still remain unknown regarding their biology, ecology and, most of all, their possible use for man's well-being. Due to their geographic location, the current and past climatic conditions (successive glaciation periods), tropical ecosystems house the majority of current biological diversity. This is the case for tropical rain forests which were veritable **fauna**⁷ and **flora**⁷ refuges during the last glacial period in the Pleistocene and which, with only 7 % of the total Earth's surface, hold more

than 50 % of the species described [3].

At the level of the West African subregion, which stretches over approximately 6 million km² with a population of more than 200 million inhabitants, biological diversity can be characterized by two basic phenomena: the presence of a significant spatial **heterogeneity**⁷ leading to a large diversity of ecosystems and the presence of the Upper Guinean Forest (Gulf of Guinea region), which belongs to the 43 global hotspots (priority areas for biodiversity conservation) and is one of the last sanctuaries of African biodiversity (Map 2.1 & 2.2).

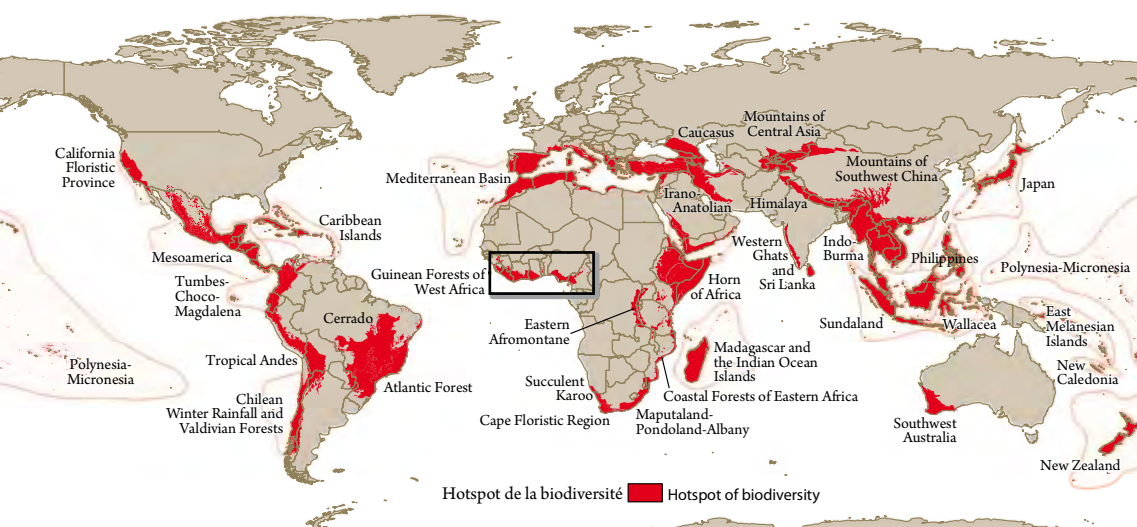
Importance of the diversity of West African ecosystems

The West African subregion, from the Gulf of Guinea to the Southern boundary of the Sahara, covers a climatic gradient characterized by annual precipitation varying from 250 mm to 3 000 mm. This climatic particularity confers a great diversity of ecosystems, holding a unique floristic and faunistic diversity in

Importance de la diversité des écosystèmes de l'Afrique de l'Ouest

La sous région ouest africaine, qui part du Golf de Guinée à la limite sud du Sahara, traverse un gradient climatique caractérisé par des précipitations moyennes annuelles variants de 250 mm à 3 000 mm de pluie. Cette particularité climatique confère à la sous région une grande diversité d'écosystèmes renfermant une diversité floristique et faunique unique, à savoir :

- La forêt tropicale humide (1 500 mm à 3 000 mm de pluie), avec une diversité d'**habitats**⁷ incluant des milieux particuliers comme les mangroves ainsi qu'une faune et une flore particulièrement riches (Fig. 2.2);



Carte 2.1: Hotspots de Biodiversité. [4]

Map 2.1: Hotspots of Biodiversity. [4]

the subregion, namely:

- The tropical rain forest (1 500 mm to 3 000 mm of rain), with a diversity of **habitats**⁷ (mangroves, etc.) as well as a profusion of fauna and flora (Fig. 2.2);
- The savanna forest ecotone (1 300 mm to 1 500 mm of rain) houses a savanna and forest species mosaic as well as unique habitats for the numerous migratory species (Fig. 2.3 & 2.4);
- The savanna (800 mm to 1 500 mm of rain) is characterized by the coexistence of tree and grass species and which constitutes the area favoured by the large African **mammals**⁷ (Fig. 2.5);

- L'écotone forêt-savane (1 200 mm à 1 500 mm de pluie), renfermant une mosaïque d'espèces de savane et de forêt ainsi que des habitats vitaux pour de nombreuses espèces d'oiseaux migratrices (Fig 2.3 & Fig. 2.4);
- La savane (800 mm à 1 500 mm de pluie), caractérisée par une coexistence d'espèces d'arbres et d'herbes et qui constitue le domaine privilégié des grands **mammifères**⁷ africains (Fig. 2.5) ;
- Le sahel (200 mm à 500 mm de pluie), vaste étendue renfermant une grande variabilité de formes biologiques adaptées aux conditions xériques avec une impressionnante diversité d'acacia Il représente un milieu de transition entre la savane et le désert (Fig. 2.6).
- Le désert (inférieur à 200 mm de pluie), qui représente la partie la plus sèche de la sous région. Il renferme moins d'espèces mais, du fait des conditions extrêmes de vie, possède une diversité génétique potentiellement importante (Fig. 2.7).

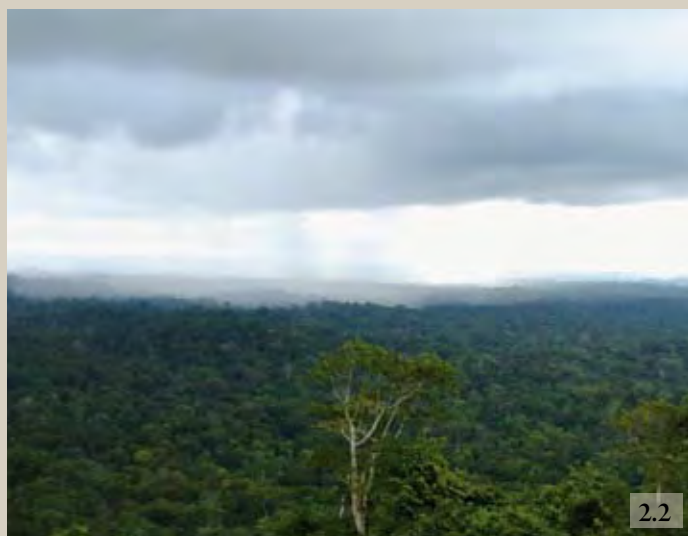
Cas particulier du « hotspot » de la Forêt Guinéenne

L'écosystème de la forêt guinéenne comprend la région de la Haute Guinée qui s'étend sur cinq pays (Liberia, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin) auxquels s'ajoutent les forêts du sud du Nigeria et une

- The Sahel (200 mm to 500 mm of rain), a vast stretch with a large variability of biological forms adapted to xeric conditions with an impressive diversity of *Acacia* (Fig. 2.6).
- The desert (less than 200 mm of rain), representing the driest part of the subregion, which holds fewer species; however, due to the extreme conditions of life, it possesses potentially significant genetic diversity (Fig. 2.7).

Special case of the Guinean Forest "hotspot"

The Guinean forest ecosystem includes foremost the Upper Guinea Region that stretches over five countries (Liberia, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin) to which the forests of the South of Nigeria are added and a part of those of Cameroon (Map 2.2). This ecosystem is part of the important forest refuge during the retraction and fragmentation of the African rain forest in the Pleistocene. It is now a priority zone for the conservation of biodiversity at the international level due to the significance of its specific richness, the high rate of endemic species and due to threats to its biological diversity. Indeed, the Guinean forest is one of the eight "hotspots" identified in Africa of the 43 currently identified hotspots worldwide Map 2.1 [4], this important



2.2



2.3



2.4



2.5



2.6



2.7

Fig. 2.2: Forêt tropicale humide de Parc National de Taï (CI). | Tropical rain forest of Taï National Park (CI). JMU

Fig. 2.3: Ecotone Forêt-savane, réserve de Lamto (CI). | Forest-savanna ecotone, Lamto reserve (CI). SKO

Fig. 2.4: Ecotone savane guinéenne-savane soudanienne, parc national et réserve de biosphère de la Comoé (CI). | Guinean savanna -soudanian savanna ecotone, Comoé national park and biosphere reserve (CI). KEL

Fig. 2.5: Savane soudanienne, parc national et réserve de biosphère de la Pendjari (BJ). | Soudanian savanna, Pendjari national park and biosphere reserve (BJ). KEL

Fig. 2.6: Sahel, Gorom Gorom (BF). | Sahel, Gorom Gorom (BF). KEL

Fig. 2.7: Desert du Sahara, Sud Algérie. | Desert of Sahara, South Algeria. KEL

Tab. 2.1: Caractéristiques principales de la forêt guinéenne en Afrique de l'Ouest [4]. | Main characteristics of the Guinean forest in West Africa [4].

Caractéristiques générales General characteristics	Superficies Area (km ²)
Etendue originelle du hotspot Original extent of hotspot	620 314
Etendue actuelle du hotspot Current extent of hotspot	93 047
Aires protégées Protected area	108 104
Aires hautement protégées, catégories I-IV de l'UICN Highly protected area, IUCN categories I-IV	18 880

Tab. 2.2: Diversité et endémisme de la forêt guinéenne en Afrique de l'Ouest. Chiffres entre parenthèse: nombre d'espèces menacées, (-) données manquantes [4]. | Diversity and endemism of the Guinean Forest in West Africa. Numbers in parentheses: number of threatened species, (-) missing data [4].

Groupes taxonomiques Taxonomic groups	Especies Species	Especies endémiques Endemic species	Pourcentage d'endémisme Percentage endemism
Plantes Plants	9 000	1 800 (-)	20,0
Mammifères Mammals	320	67 (35)	20,9
Oiseaux Birds	785	75 (31)	9,6
Reptiles Reptiles	210	52 (-)	24,8
Amphibiens Amphibiens	221	85 (49)	38,5
Poisons d'eaux douces Fresh water fish	512	143 (-)	27,9

sanctuary of West African biodiversity is one of the most critically fragmented regions of the planet. Today only 15 % of the original forest cover of this hotspot remains. Moreover, a large part of these forest relicts are still being exploited for timber production (Fig. 2.8) and threatened by poaching (Fig. 2.9 & Fig. 2.10). The characteristics of this important biodiversity sanctuary which houses more than a quarter of all African mammals are presented in table 2.2.

The figures shown in table 2.2 give a rough overview of the diversity and **endemism**⁷ of the Guinean Forest. It must be noted for example, that the total number of species of many **taxa**⁸, such as the **vertebrates**⁹, is yet unknown and that several species of mammals have certainly disappeared in this region. This was the case recently, for the elan of Derby (*Tauratragus derbianus*), the largest antelope known in the world (Fig. 2.11) and also for the black rhinoceros of West Africa (Fig. 2.12). Regarding the latter, there was a loss of over 96 % of the total population due to poaching as a consequence of the strong demand for rhino horn in Asia and the Middle East in the 1980s. Of the four existing subspecies, three are classified in as "critically endangered" on the IUCN Red List. The fourth subspecies (*Diceros*

bicornis longipes) occurring in West Africa, was recently declared to be probably extinct after an extensive survey conducted in Cameroon where the last **specimens**⁷ had been found.

MAIN CAUSES FOR THE LOSS OF BIOLOGICAL DIVERSITY IN WEST AFRICA

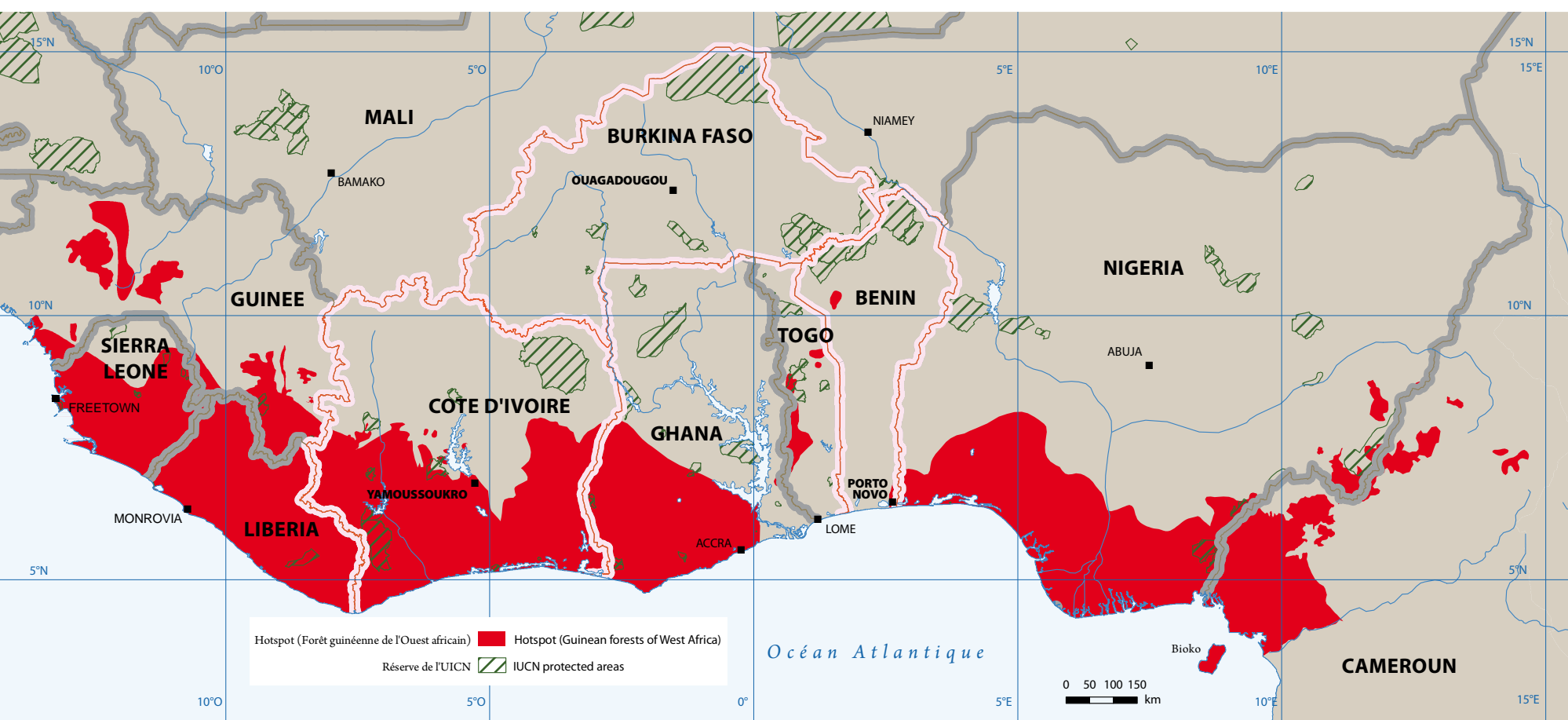
To monitor the dynamics of biodiversity two new tools have recently been developed at international level: The "Living Planet Index" and the "Ecological Footprint" (see following box). The Living Planet Index tracks the state of global biodiversity, while the ecological footprint gives an estimate of man's demand for natural resources and the consequent impact on biodiversity. The Living Planet Report of 2010 [5], based on these two indices, shows a general decrease of 30 % of biodiversity at the global level over the past 37 years, largely explained by significant losses observed in tropical ecosystems (60 % decrease). The impoverishment of biological diversity is linked to human activities. The causes of the current erosion of biodiversity vary according to the level of development of the different countries.

In the countries of the North the threats to biodiversity are

portion de celles du Cameroun (Carte 2.2). Cet écosystème fait partie des importants refuges forestiers de l'époque du pléistocène, durant la rétraction et la fragmentation des forêts humide africaines. Il constitue actuellement une zones prioritaires de conservation de la biodiversité au niveau mondiale, du fait de l'importance de sa richesse spécifique, de sont taux élevé d'espèces endémiques et des menaces qui pèsent sur sa diversité biologique. En effet la forêt guinéenne fait partie des huit « hots spots » identifié en Afrique sur les 43 existants actuellement au niveau mondial (Carte 2.4, [4]). Cependant, cet important sanctuaire de la biodiversité ouest africaine constitue l'une des régions les plus dégradée de la planète. A ce jour, seulement 15 % du couvert forestier original de ce hotspot existe, et une bonne partie de ces reliques de forêt continue d'être exploitée pour la production de bois (Fig. 2.8) et d'être menacée par le braconnage (Fig. 2.9 & Fig. 2.10).

Les caractéristiques de cet important sanctuaire de la biodiversité qui héberge plus du quart des mammifères de l'Afrique sont présentées dans le tableau 2.1.

Les chiffres avancés dans le tableau 2.2 sur la diversité et l'**endémisme**⁷ de la forêt guinéenne, sont à titre indicatif. En effet, il faut noter par exemple que le nombre total d'espèces de nombreux taxons, tel que les **vertébrés**⁷, est inconnu et que plusieurs espèces de mammifères ont certainement disparut de cette région. C'est le cas récemment, de l'élan de Derby (*Tauratragus derbianus*) qui est la plus grande antilope connue au monde (Fig. 2.11), dont quelques **spécimens**⁷ vivants en Afrique de l'Ouest peuvent encore être observé au Sénégal, notamment dans la réserve de Bandia où ils vivent en sémi-captivité. C'est également le cas du rhinocéros noir d'Afrique de l'Ouest (Fig. 2.12). Concernant ce dernier, on a assisté à un déclin de plus de 96 % de la population totale, du fait du braconnage



Carte 2.2: Hotspot de la forêt guinéenne [4].

Map 2.2: Guinean forest hotspot [4].



2.8



2.9



2.10

Fig. 2.8: Exploitation forestière (CI). | Timber exploitation (CI). JMU

Fig. 2.9: Braconnage, parc national, réserve de biosphère de la Comoé (CI). | Poaching, Comoé national park and biosphere reserve (CI). KEL

Fig. 2.10: Braconnage, réserve de Lamto (CI). | Poaching, Lamto reserve (CI). SKO

lié à la forte demande en cornes de rhinocéros pour l'Asie et le Moyen Orient dans les années 1980. Des quatre sous espèces existant, trois sont classées sur la liste rouge de l'UICN dans la catégorie (critiquement menacée), la quatrième sous espèce (*Diceros bicornis longipes*), qui existait en Afrique de l'Ouest a été récemment déclarée probablement éteinte suite à une prospection extensive effectuée au Cameroun où l'on trouvait auparavant les derniers spécimens.

PRINCIPALES CAUSES DE LA PERTE DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Afin de pouvoir suivre la dynamique de la biodiversité, deux nouveaux outils ont été récemment élaborés, au niveau international : « l'indice de planète vivante » et « l'empreinte écologique » (voir encadré). L'indice de planète vivante permet de suivre l'état de la biodiversité globale tandis que l'empreinte écologique donne une estimation des besoins en ressources de l'homme ainsi que de son impact sur cette biodiversité. Le rapport planète vivante 2010 du WWF [5], sur la base de ces deux indices, montre d'une manière générale une baisse de 30 % de la diversité biologique au niveau global sur les 37 dernières années. Cette baisse s'explique

essentially linked to **climate change**⁷ but also to the effects of modern industrialized agriculture which transforms vast areas into a totally mechanized environment lacking trees, shelter, or even fragments of natural vegetation, and which uses large quantities of **fertilizers**⁷ and **pesticides**⁷. The increase of natural disasters (drought, forest fires, floods ...), which are also important factors of erosion of biodiversity in these countries, are one of the manifestations of climate variability of **anthropogenic**⁷ origin.

With regard to developing countries, and especially to Africa, the loss of the biological diversity due to human activities is happening on a scale and at a rate unprecedented in the Earth's history. The annual deforestation rate is more than 2 % [6], and the current extinction rate of species is 100 to 1 000 times higher than natural rates [3].

The main causes of this drastic reduction of biodiversity in the African countries are well known. Indeed, these are essentially poverty, fast-developing demographics, uncontrolled urbanization, the destruction and **fragmentation of natural habitats**⁷, erosion and the impoverishment of soils, and the introduction of invasive species. The lack of sustainable forest management

essentiellement par les pertes importantes observées au niveau des écosystèmes tropicaux (60 % de baisse).

L'appauvrissement de la diversité biologique est essentiellement lié aux activités humaines. Les causes de l'érosion actuelles de la biodiversité varient selon le niveau de développement des différents pays. Dans les pays du nord les menaces sur la biodiversité sont essentiellement liées aux effets de l'agriculture moderne industrielle qui transforme de vastes régions en milieux totalement mécanisés sans arbres, sans refuges, ni fragments de végétations naturelles, utilisant de grandes quantités de **fertilisants**⁷ et de **pesticides**⁷. La multiplication des catastrophes naturelles (sécheresse, feux de forêt, inondations, ...), qui sont également d'important facteurs d'érosion de la diversité biologique dans ces pays, serait l'une des manifestations de la variabilité climatique d'origine **anthropique**⁷.

Au niveau des pays en développement et plus particulièrement en Afrique la perte de la diversité biologique due aux activités humaines se fait à une ampleur et un rythme sans précédent dans l'histoire de la terre. Le taux de déforestation annuel actuel est supérieur à

2 % [6], et les taux d'extinctions actuelles des espèces sont de 100 à 1 000 fois supérieurs aux taux naturels [3].

Les principales causes de cette réduction drastique de la biodiversité dans les pays africains sont bien connues. En effet il s'agit essentiellement de la pauvreté, de la démographie galopante, de l'urbanisation incontrôlée, de la destruction et la **fragmentation des habitats**⁷ naturels, de l'érosion et l'appauvrissement des sols et de l'introduction d'espèces envahissantes. L'absence de système d'utilisation durable en foresterie et en agriculture ainsi que la non observation de règle d'exploitation durable dans les domaines de la pêche, de la chasse et dans tout autre forme d'utilisation des sources naturelles, constituent également des facteurs déterminants de l'érosion actuelle de biodiversité en Afrique.

Les activités humaines directement responsables de la destruction de la forêt tropicale, à l'échelle globale, sont illustrées dans le tableau 2.3. Il s'agit essentiellement de l'exploitation du bois commercial, de la mise en place de cultures et de plantations, de l'utilisation du bois de feux et de l'élevage intensif (surpâturage).

Tab. 2.3: Principale cause de la dégradation de la forêt tropicale, à l'échelle global [3]. | Main causes for degradation of tropical forest on a global scale [3].

Causes de la destruction de la forêt tropicale Causes of tropical forest destruction	Superficies détruites / an Area destroyed / year
Bois commercial Commercial wood	45 000 km ²
Culture et plantation Cultivation and plantation	45 000 km ²
Bois de feu Firewood	25 000 km ²
Elevage et pâturage Animal husbandry and grazing	20 000 km ²

and agricultural practices as well as the disregard of rules for sustainable fishing, hunting and any other use of natural sources, also cause the current decline of biodiversity in Africa.

Human activities that are directly responsible for the destruction of the tropical forest, on a global scale, are illustrated in table 2.3. These are foremost the exploitation of commercial wood, the planting of crops and plantations, the use of firewood (heating and cooking) and conversion of natural habitats into (often overgrazed) pastures.

In West Africa, the tropical rain forests have also declined considerably during the last century. In Côte d'Ivoire and Ghana, for example, more than 75 % of the forest area has disappeared in 30 years [7]. The rate of conversion of natural environments into crops and plantations of one decade (1980-1990) has been

22.4 % in Côte d'Ivoire and 32 % in Niger [3]. Other recent and very serious threats to biodiversity in West Africa are the introduction of **alien species**⁷, second to land conversion, and civil conflicts (Sierra Leone, Liberia and Côte d'Ivoire).

Indeed, the introduction of new species, voluntary or not, into ecosystems other than their original environments is an acute danger for biodiversity in West Africa. For example, this is the case for the common water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), which was introduced into West Africa as an ornamental plant. This plant has become invasive and it currently causes severe ecological (**eutrophication**⁷) and economic problems (drop in fishery productivity) in the lakes and lagoons of some countries of the subregion, as in Côte d'Ivoire.



2.11

En Afrique de l'Ouest, les forêts tropicales humides ont ainsi régressé de façon considérable au cours du siècle dernier. En Côte d'Ivoire et au Ghana par exemple, plus de 75 % de la surface forestière a disparu en 30 ans [7]. Les taux de conversion des milieux naturels en cultures et en plantations ont été, en une décennie (1980-1990), de 22,4 % en Côte d'Ivoire et de 32 % au Niger [3]. D'autres menaces plus récentes mais très importantes sur la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest sont l'introduction d'**espèces exotiques**², qui viennent cependant en 2^e position après la conversion des terres et les conflits civils (Sierra Léone, Liberia et Côte d'Ivoire). En effet, l'introduction volontaire ou non, de nouvelles espèces dans des écosystèmes autres que leurs milieux d'origine, constitue un danger réel pour la biodiversité en Afrique de l'Ouest. C'est le cas par exemple de la Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) qui, originaire d'Amérique, a été introduite en Afrique de l'Ouest comme plante ornementale. Cette plante qui est devenue envahissante provoque actuellement des problèmes écologiques (**eutrophisation**²) et économiques (baisse de la productivité halieutique) importants dans les lacs et lagunes de certains pays de la sous-région, comme la Côte d'Ivoire.



2.12

Fig. 2.11: Elan de Derby, la plus grande antilope connue au monde, Réserve de Bandia (Senegal). | Derby elan, the largest antelope known in the world, Bandia reserve (Senegal). SKO

Fig. 2.12: Rhinocéros, parc national de Nakuru, Kenya | Rhinoceros, Nakuru National park, Kenya SKO

BIODIVERSITE ET OPPORTUNITES DE DEVELOPPEMENT DURABLE

En définitif, les causes de la perte de la diversité biologique en Afrique sont liées aux changements politiques et économiques des sociétés africaines, qui ont provoqué de profondes modifications des comportements sociaux. Jadis le plus souvent harmonieux, les rapports entre l'homme et la nature sont devenus conflictuels dans la plus part des sociétés ouest africaines actuelles. L'un des défis majeurs du développement de ces sociétés consistera certainement à adapter (voir réactiver) et à intégrer les meilleurs attributs des modes de gestions traditionnels aux besoins d'urbanisation à venir.

Modes de gestion de la biodiversité en Afrique de l'Ouest

Face à la forte **dégradation**⁷ de la nature due aux activités humaines, apparaissent les premiers mouvements et législations en faveur de la protection de la nature. Ces tendances protectionnistes ont conduit à la création des premiers parcs et réserves intégrales, dans l'optique de soustraire totalement des paysages tout entiers à l'action humaine.

En Afrique, à la faveur de la colonisation européenne, cette approche statique et exclusive de la protection de la nature s'impose aux dépens d'une approche communautaire qui intégrait harmonieusement l'homme et la nature dans la plupart des sociétés traditionnelles au 19^e siècle.

À l'aube du 21^e siècle, l'on assiste à une forte pression **anthropique**⁷ exercée sur les aires protégées du fait de la croissance démographique, de la pauvreté et des exigences de développement des nouvelles sociétés africaines. Cela conduit à une remise en cause de la conservation intégrale et à la reconsidération des pratiques traditionnelles de conservation impliquant les populations à la gestion sage et durable des ressources naturelles. C'est le concept de la gestion participative qui permet d'allier le développement socio-économique et la conservation de la nature. Ce mode de gestion est actuellement reconnu au niveau international comme la meilleure alternative pour le développement durable des sociétés africaines. Toutefois, la protection intégrale contre toute activité extractive ou

BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Definitively, the causes for the loss of biological diversity in Africa are connected with the political and economic changes in African societies that provoked profound modifications of social behaviours. Formerly rather harmonious, the relationship between man and nature has become conflict laden in the majority of today's West African societies. One of the major challenges for the development in these societies certainly is adapting (or re-activating) and integrating the best attributes of traditional management methods to the needs of future urbanization.

Methods for managing biodiversity in West Africa

Faced with great **degradation**⁷ of nature due to human activities, the first movements and legislation favouring the protection of nature appeared. These protectionist tendencies have led to the creation of the first parks and strict reserves with the goal of completely shielding entire landscapes from human

activities. In Africa, due to European colonization, this static and exclusive approach to nature protection was imposed to the detriment of the community approach, which harmoniously integrated man and nature in the majority of traditional societies in the 19th century.

At the dawn of the 21st century, we witness strong man-made pressure exerted on the protected areas due to demographic growth, poverty and the development requirements of new African societies. These circumstances call into question the strict conservation approach and ask for a reconsideration of traditional conservation practices which involve the people in the wise and sustainable use of natural resources. It is the concept of participative management that enables allying socio-economic development and nature conservation. This method of management is currently renowned internationally as the best alternative for the sustainable development of African societies. But, in any case, protection against any mining activity



Fig. 2.13: Schéma théorique simplifié du zonage et de la répartition des activités à l'intérieur des Réserves de Biosphère, selon les recommandations du MAB. | Simplified theoretic outline of zonation and allocation of activities inside the Biosphere Reserve; according to the recommendations of MAB.

(c) UNEP. 2009. Biosphere reserves for environmental and economic security. Modified. [<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001863/186344e.pdf>]

and protection against threats to **biodiversity** of protected areas are essential, especially in the context of a participatory approach. These requirements are reflected in the model **Biosphere** Reserve defined by the UNESCO: generally three main areas are defined (Fig. 2.13)

- A zone receiving the full protection of critically threatened biodiversity, surrounded by
- A buffer zone that can support all human activities compatible with the conservation of biodiversity in the core area, and which separates the core area from
- The peripheral zone that hosts the housing and human economic activities.

The current problem in managing natural resources in Africa can be found in reconciling the needs for a development centred on the exploitation of natural resources and the conservation of them in a context of increased poverty.

How can such an approach be favoured in the current African societies with strong demographic growth and with a social system that is relatively different from those of ancient traditional societies?

Diverse approaches exist according to the multiplicity of African societies. In West Africa socioeconomic studies undertaken notably in Ghana [8] have shown the absolute need to reactivate traditional knowledge in view of re-establishing the equilibrium broken between man and nature. These studies also underline the essential role of women in conserving biodiversity through the selection and maintenance of crop varieties and the perpetuation of traditional knowledge, notably in the medical area. The conservation of biodiversity should extend also beyond the limits of the protected zones to integrate the majority of diversity and be done according to a regional and **ecosystemic** approach.

In general, it is noteworthy that creating sustainable development in West Africa should take four factors necessarily into consideration, these are

- Taking into account the biodiversity management in land use planning
- Combining traditional and modern conservation methods and
- A better integration of local communities and the private sector in managing natural resources

menaçante pour la **biodiversité**⁷ de certaines parties des aires protégées s'avèrent indispensables, même dans le cadre d'une démarche participative. Cette nécessité s'illustre bien dans le modèle de réserve de **biosphère**⁸ de l'UNESCO, où d'une manière générale l'on distingue trois principales zones (Fig. 2.13)

- Une zone de protection intégrale recevant l'essentielle de la biodiversité menacée, entourée
- D'une zone tampon qui peut héberger toute activité humaine compatible avec la conservation de la biodiversité de la zone centrale et qui sépare cette dernière de
- La zone périphérique qui héberge les habitations et les activités économiques humaines.

La problématique actuelle de la gestion des ressources naturelles en Afrique se résume à concilier les besoins d'un développement axé sur l'exploitation des ressources naturelles et la conservation de celles-ci, dans un contexte de pauvreté accrue.

Comment favoriser une telle approche dans des sociétés africaines actuelles à forte croissance démographique et avec un système social relativement différent de celui des sociétés traditionnelles ?

Diverses approches existent en fonction de la multiplicité des sociétés

- Enhancement of biodiversity and equitable sharing of benefits arising thereof.

Goods and services supplied by biodiversity and the opportunity for sustainable development in West Africa

Biodiversity conservation necessarily comes from its valuation and, thus, from the knowledge of the goods and services that it provides.

The goods supplied by biodiversity are partly defined as the products that are bought and sold in monetary value in the market. More difficult to estimate in monetary terms are the services rendered by ecosystems encompassing all the ecological functions of biodiversity which enable all higher life and the well-being of humans (Fig. 2.1).

African countries and especially those in West Africa hold a very significant diversity in terms of their **flora**⁹ and **fauna**⁹, but nevertheless threatened (Tab. 2.4). This immense "library of nature" represents an important capital for the sustainable development of African nations, notably in the areas of biotechnology and **ecotourism**⁹. These two possibilities of valorisation, done according to regulations and in accordance with

africaines. En Afrique de l'Ouest, des études socio-économiques, menées notamment au Ghana [8] ont montré la nécessité absolue de réactiver les savoirs traditionnels en vue de rétablir l'équilibre brisé entre l'homme et la nature. Ces travaux soulignent également le rôle essentiel de la femme dans la conservation de la biodiversité, à travers la sélection et le maintien des variétés culturelles et la perpétuation des connaissances traditionnelles, notamment dans le domaine médical.

La conservation de la biodiversité doit s'étendre également au-delà des limites des zones protégées pour intégrer la majorité de la diversité biologique et se réaliser selon une approche régionale et écosystémique.

D'une manière générale, il est à noter que la réalisation du développement durable en Afrique de l'Ouest doit nécessairement tenir compte de quatre facteurs qui sont:

- La prise en compte de la gestion de la biodiversité dans l'aménagement des terres;
- La combinaison des modes de conservation traditionnelles et modernes;
- Une meilleure intégration des communautés locales et du secteur privé dans la gestion des ressources naturelles;

the preservation of biodiversity, could be the motor for a very significant economic development in African countries. However, this development necessarily passes by capacity building on training and scientific research and also by putting together competencies at national, sub-regional, regional and international levels, through creation of centres of excellence in tropical biodiversity. These needs correspond perfectly with the development objectives of the New Partnership for the Development of Africa (NEPAD), initiated by the African Union and aiming at the promotion of a sustainable development in Africa.

CONCLUSION

Defined as simply as possible as the diversity of different forms of life on the Earth, current biodiversity – or biological diversity – is the fruit of a long evolution and constitutes the web of life of which we are an integral part and on which we totally depend for our well-being and our survival [1].

West Africa, through the variety of its ecosystems holds a unique biological diversity and is considered as one of the priority conservation zones on an international level. However, this

- La valorisation de la biodiversité et le partage équitable des bénéfices qui en découlent.

Biens et services fournis par la biodiversité et opportunités de développement durable en Afrique de l'Ouest

La conservation de la biodiversité passe nécessairement par sa valorisation et donc par la connaissance des biens et services qu'elle produit.

Les biens fournis par la biodiversité se définissent en partie comme des produits, achetés et vendus, a valeur monétaire sur le marché.

Plus difficile à estimer en terme monétaire, les services rendus par les écosystèmes englobent toutes les fonctions écologiques de la biodiversité, qui permettent la vie et le bien être des êtres humains (Fig. 2.1).

Les pays africains et particulièrement ceux de l'Afrique de l'Ouest renferment une diversité floristique et faunique très importante mais également menacée (Tab. 2.4). Cette immense « bibliothèque

de la nature », représente un capital important pour le développement durable des nations africaines, notamment dans les domaines de la biotechnologie et de l'écotourisme⁷. Ces deux modes de valorisation, réalisés selon des réglementations et une vision cohérentes avec la préservation de la biodiversité, pourraient être des moteurs de développement économique très importants pour les pays africains. Cependant, ce développement passe nécessairement par le renforcement des capacités en matière de formation et de recherche scientifique et par la mise en commun des compétences nationales, sous-régionales, régionales et internationales. Cela pourrait se réaliser à travers la création de centres d'excellences internationales pour la biodiversité tropicale. Ces besoins rejoignent parfaitement les objectifs de développement du « nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique » (NEPAD), initié par l'Union Africaine (UA) et visant à promouvoir un développement durable en Afrique.

Tab. 2.4: Etat de la biodiversité (mammifères, oiseaux et plantes) dans les 16 pays de l'Afrique de l'Ouest [9]. | Current state of biodiversity (mammals, birds, and plants) in the 16 countries of West Africa [9].

PAYS COUNTRIES	Espèces de Mammifères Mammal species	Mammifères endémiques Endemic mammals	Mammifères menacés Endangered mammals	Espèces d'oiseaux Bird species	Oiseaux endémiques Endemic birds	Oiseaux menacés Endangered birds	Espèces de plantes Plant species	Plantes endémiques Endemic plants
Bénin	188	0	7	307	0	2	2 500	-
Burkina Faso	147	0	7	335	0	2	1 100	-
Cape Vert	5	0	3	38	4	2	774	86
Côte d'Ivoire	230	0	17	535	2	12	3 660	62
Gambie	117	0	3	280	0	2	974	-
Ghana	222	1	13	529	0	8	3 725	43
Guinée	190	1	11	409	0	10	3 000	88
Guinée Bissau	108	0	2	243	0	0	1 000	12
Liberia	193	0	16	372	1	11	2 200	103
Mali	137	0	13	397	0	4	1 741	11
Mauritanie	61	1	10	273	0	2	1 100	-
Niger	131	0	11	299	0	3	1 460	-
Nigeria	274	4	25	681	2	9	4 715	205
Sénégal	192	0	11	384	0	4	2 086	26
Sierra Léon	147	0	11	466	1	10	2 090	74
Togo	196	0	9	391	0	0	3 085	-

CONCLUSION

Définis le plus simplement possible comme la diversité des différentes formes de vie, la biodiversité - ou diversité biologique - actuelle est le fruit d'une longue évolution et constitue la toile de la vie **terrestre** dont nous sommes partie intégrante et dont nous dépendons totalement pour notre bien être et notre survie [1].

L'Afrique de l'Ouest, à travers la variété de ses écosystèmes, renferme une diversité biologique unique et est considérée comme l'une des zones prioritaires de conservation au niveau mondial. Cependant, ce patrimoine biologique qui reste encore mal connu, fait l'objet d'une exploitation non durable et est menacé d'une disparition imminente.

L'ampleur actuelle de l'érosion de la biodiversité constitue à moyen terme un danger réel pour la survie des populations africaines ainsi que pour l'économie régionale, qui sont directement dépendant de l'exploitation des ressources naturelles. A long terme, c'est la vie à la surface de la terre elle-même qui est menacée du fait des rythmes actuels d'extinction des espèces. En effet les taux d'extinctions d'origine anthropique, en comparaison avec les extinctions naturelles passées, ne permettront certainement pas aux espèces de s'adapter ou même d'évoluer face à des changements aussi rapides.

La maîtrise de l'érosion de la biodiversité actuelle nécessite une coopération parfaite entre trois acteurs clés que sont : le gouvernement pour les lois et la réglementation, le secteur privé et les ONGs comme moteur de développement de la société et enfin la science et la technologie pour la connaissance des biens et services rendus par la biodiversité [2].

Au niveau de l'Afrique et particulièrement de la sous région Ouest africaine, des changements politiques, économiques et sociaux sont nécessaires, afin de concilier les besoins de développement et d'urbanisation avec la nécessité de conserver durablement le patrimoine biologique. Les actions à mener dans cette optique nécessitent une intégration des savoirs traditionnels et modernes de conservation de la diversité biologiques. Ce développement durable passe nécessairement par un état des lieux et une connaissance plus approfondie des biens et services que cette biodiversité constitue pour nous.

biological heritage still remains not well known, is the object of unsustainable exploitation and is threatened with imminent extinction.

The current magnitude of erosion of biodiversity is an acute danger for the medium-term survival of African populations as well as for the regional economy, both of which are directly dependent on the use of natural resources. In the long term, it is the biosphere of the Earth's surface itself that is threatened by the current pace of extinction of species. Indeed, the rates of extinction due to man's influence, in comparison with the natural extinctions occurring in the past, certainly do not permit species to adapt or even evolve when faced with such rapid changes.

Mastering the current erosion of biodiversity requires perfect cooperation among three key actors which are: government for the laws and regulations, private sector and NGOs as a motor for the development of society and finally science and technology for the knowledge of its preservation and of goods and services rendered by biodiversity [2]. At the African level and especially the West African subregion, political, economic and social changes are necessary in order to reconcile the needs

of development and urbanization with the need to sustainably conserve the biological heritage. The actions to undertake for this goal require the integration of traditional and modern knowledge of conservation of biological diversity. This sustainable development necessarily develops through an inventory and deeper knowledge of the goods and services this biodiversity constitutes for us and the continuous functioning of the biosphere which we are vitally dependent on.

Objectifs de la déclaration du Millénaire et état de la biodiversité en Afrique de l'Ouest

Souleymane KONATÉ & K. Eduard LINSENMAIR

Sous l'égide des Nations Unis, les dirigeants du monde se sont réunis en 2000 afin de définir des objectifs visionnaires pour le 21^e siècle. La déclaration du millénaire fixait ainsi 2015 comme date butoir pour la réalisation de la plupart des objectifs du millénaire pour le développement (OMD), visant à réduire de moitié l'extrême pauvreté sous toutes ses formes [1]. Les cibles de ces maux qui minent l'humanité et qui ont conduit à cet état d'extrême pauvreté vécu par une bonne frange de la population humaine, et surtout africaine, ont été identifiées et la recherche d'un environnement durable ainsi que d'un véritable partenariat mondial pour le développement a été proclamée.

Pour ce qui concerne l'objectif 7 (assurer un environnement durable) de l'OMD, la cible consistait à inverser la tendance actuelle à la perte des ressources naturelles, et notamment de la **biodiversité**[↗] de manière significative d'ici 2010, sur la base des constats suivants :

- La perte de la biodiversité due aux activités humaines a été plus rapide durant les 50 dernières années qu'à aucun autre moment de l'histoire de l'humanité.
- Les plus importantes causes de la perte de la biodiversité sont le changement des **habitats**[↗] (avec notamment la perte et la fragmentation des forêts) et le **changement climatique**[↗]. Sous les tropiques le changement des habitats est la première cause et cette situation risque de perdurer pour un certain temps.
- Les projections futures indiquent que le rythme de la perte de la

biodiversité va s'accélérer avec le temps. En particulier la forêt tropicale risque de se transformer en « hotspot » d'extinction. La biodiversité des milieux aquatiques tropicales, notamment celle des océans est particulièrement menacée par la surexploitation (pêche anarchique) et la pollution du fait l'exploitation pétrolière offshore et l'élévation de la teneur en CO₂ atmosphérique (acidification des eaux).

Près de 10 ans après les engagements pris par l'OMD et à 5 ans de leur échéance, quel constat pouvons-nous faire quant à l'état de la santé de la planète, et en particulier à celui de la biodiversité en Afrique de l'Ouest ? Pour l'estimation de l'état de santé de la planète, le rapport planète vivante publié par le WWF tous les deux ans depuis 1998, apparaît comme l'outil de diagnostic le plus approprié. Ce rapport se fonde sur la combinaison de deux mesures complémentaires pour analyser l'évolution de la biodiversité mondiale et de la consommation humaine.

1. L'indice planète vivante (IVP) est un indicateur pour la surveillance de l'état de la biodiversité dans le monde. Il se base sur le suivi d'environ 5 000 populations de 1686 espèces de **vertébrés**[↗] (**mammifères**[↗], oiseaux, reptiles, amphibiens, poissons) dans les différentes régions du monde. Il est élaboré par la Société Zoologique de Londres (ZSL).
2. L'empreinte écologique de l'humanité (EEH) qui montre le type et l'étendu des pressions exercées par l'homme sur les systèmes naturels est réalisé par le réseau « Global Footprint Network » (GFN). C'est un outil de mesure de la **durabilité**[↗] qui se base sur l'estimation de la demande de l'humanité en ressource vivante de la planète.

A

Living Planet Index
The global index shows that vertebrate species populations declined by almost 30 per cent between 1970 and 2007 (ZSL/WWF, 2010)



Les résultats actuels issus du dernier rapport de la planète vivante publié en 2010 montrent que :

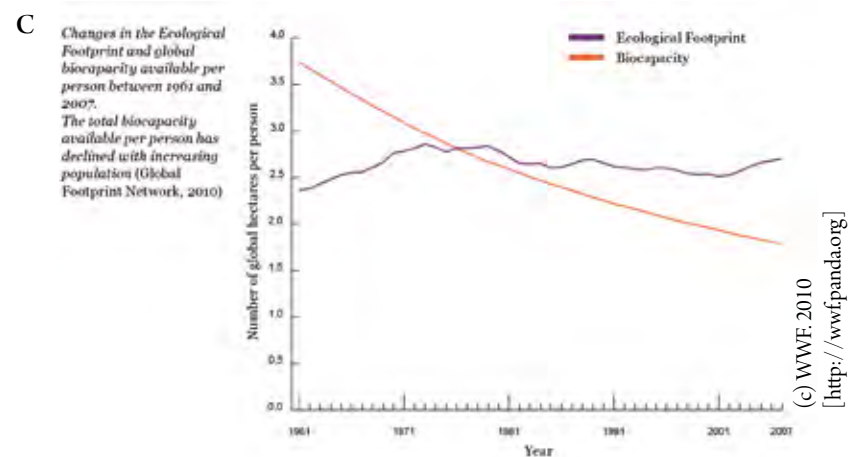
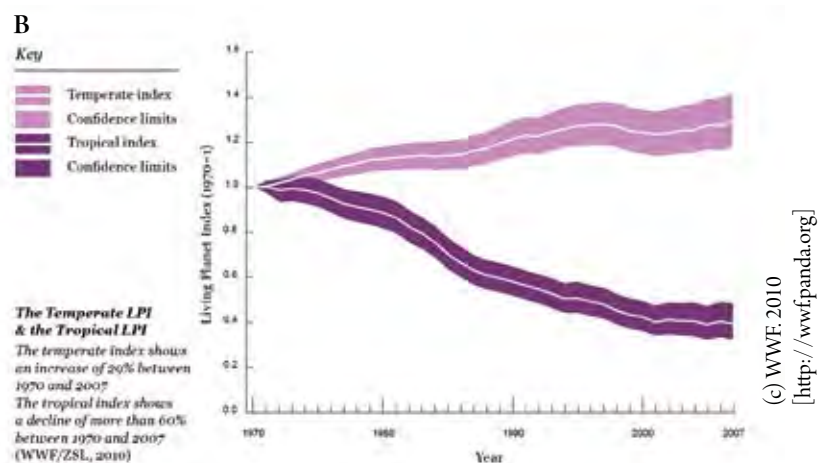
- L'IVP a diminué de près de 30 % au cours des 37 dernières années (Fig. A), cela malgré la stabilisation de la perte de la biodiversité dans la plupart des zones tempérées (Fig. B). Cette baisse durant les dernières décennies (depuis seulement 1970) s'explique essentiellement par une chute de l'IVP dans les zones tropicales de moins de 60 % (Fig. B), traduisant ainsi une diminution grave et permanente de la biodiversité tropicale.
- L'empreinte écologique de l'humanité (EEH) dépasse maintenant la capacité de régénération (biocapacité) de la planète (Fig. C). Si cette tendance continue, l'humanité aura besoin de l'équivalent d'au moins deux planètes terre pour satisfaire ces besoins en 2030.

Au regard de ces deux indicateurs globaux, que sont l'IVP et l'EEH, il apparaît clairement que les objectifs du millénaire, pourtant très modestes, à savoir réduire l'érosion de la biodiversité d'ici 2010, n'ont pu être atteints au niveau global et notamment en Afrique. Toute fois au regard sa biocapacité encore légèrement supérieur à son empreinte écologique, à la différence des pays industrialisés, l'on peut encore espérer atteindre des objectifs de développement durable dans la sous région ouest Africaine. La réalisation de cet objectif vital pour une planète viable passe cependant par des changements profonds et immédiats dans les modes d'utilisation des ressources naturelles et surtout par une intégration effective des principes de développement durable dans les politiques et programmes nationaux de ces pays, comme recommandé dans l'objectif 7 de l'OMD.

Millennium development goals and the state of biodiversity in West Africa

Under the auspices of the United Nations, world leaders met in 2000 to define visionary goals for the 21st century. The millennium declaration thus establishes 2015 as the cut-off date for accomplishing the majority of the millennium development goals (MDGs) aimed at reducing extreme poverty in all forms by half [1]. The cause of these problems that undermine humanity and that lead to this extreme state of poverty experienced by a good part of the human population, and most of all Africa, were identified. The search for a sustainable environment as well as a true worldwide partnership for development was also proclaimed. Concerning objective 7 (ensuring a sustainable environment) of the MDGs, the aim was to inverse the current tendency of loss of natural resources, and notably **Biodiversity**⁷, in a significant way by 2010 based on the following observations:

- The loss of biodiversity due to human activities was more rapid over the last 50 years than at any other moment in the history of humanity.
- The most significant causes of biodiversity loss are **habitat**⁷ change (notably the loss and fragmentation of forests) and **climate change**⁷. In the tropics, habitat change is the leading cause and this situation is liable to continue for some time.
- The future projections indicate that the rhythm of loss of biodiversity will accelerate with time. In particular, the tropical forest is at risk of being transformed into an extinction "hotspot". The biodiversity of tropical aquatic environments, especially those of



the oceans is greatly threatened by over-exploitation (illegal fishing) and pollution due to offshore oil fields and rise of CO₂ atmospheric content (acidification of water).

Almost 10 years after the commitments made with the MDGs and 5 years before their deadline, what observation can be made about the state of the planet and especially that of biodiversity in West Africa? In order to estimate the state of the planet's health, the Living Planet Report published by WWF every two years since 1998 seems the most appropriate diagnostic tool. This report is based on the combination of two complimentary measures for analyzing the evolution of worldwide biodiversity and human consumption.

1. The living planet index (LPI) is an indicator monitoring the state of biodiversity in the world. It is based on following approximately 5 000 populations of 1,686 species of **vertebrates**⁷ (**mammals**⁷, birds, reptiles, amphibians, fish) in different regions of the world. It was drafted by the Zoological Society of London (ZSL).
2. The ecological footprint of humanity (EFH) shows the type and extent of pressures exerted by man on natural systems and is created by the "Global Footprint Network" (GFN). It is a tool for measuring **sustainability**⁷ based on the estimate of humanity's demands on the planet's living resources.

The current results from the last Living Planet Report published in 2010 show that:

- The LPI diminished by close to 30 % over the last 37 years (Fig. A) despite the fact that the loss of biodiversity in the majority of temperate zones stabilized (Fig. B). This drop during the last decades (only since 1970) is basically explained by a drop in the LPI in the tropical zones of over 60 % (Fig. B) thus indicating a grave and permanent decrease of tropical biodiversity.
- Humanity's ecological footprint (EFH) now exceeds the capacity for regeneration (biocapacity) of the planet (Fig. C). If this tendency continues, humanity will need the equivalent of at least two planet Earths to satisfy these needs in 2030.

Given the two global indicators, which are the LPI and the EFH, it is obvious that these millennium goals, even though they are modest in trying to reduce the erosion of biodiversity by 2010 on a global level and notably in Africa, are not met. Nonetheless, given that, in contrast to industrialized countries, Africa's biocapacity is still slightly higher than its ecological footprint, we can still hope to achieve these sustainable

development goals in the West African subregion. For the achievement of these goals, vital for a viable planet, we must undergo profound and immediate changes in the use of natural resources and most of all effectively integrating the principles of sustainable development into politics and national programs of the countries as recommended in goal 7 of the MDGs.

2.2

Milieu humain

Abdoulaye SENGHOR

Le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire, ces trois pays juxtaposés, représentent seulement 20 % de la superficie totale des huit États membres de l'Union économique et monétaire ouest africaine (UEMOA) mais comptent environ 48 % de l'ensemble de la population de l'Union [10] et regorgent d'énormes potentialités naturelles ; ce qui diversifie les activités socioéconomiques. Ces trois pays réunis constituent ainsi une zone stratégique dans la sous-région de l'Afrique de l'Ouest et sont porteurs de nombreux enjeux tant écologique qu'économique.

ORGANISATION ADMINISTRATIVE

Comme toutes les autres anciennes colonies françaises, l'organisation administrative de ces trois pays, à quelques exceptions près, reste sensiblement la même et a connu plusieurs découpages depuis le début de leur indépendance en 1960. Tout d'abord, ce sont

des cercles qui ont été institués depuis la période coloniale jusqu'au milieu de années 1970 puis, dans certains cas, on assistera au processus de départementalisation, de provincialisation et actuellement, on est à l'ère de la régionalisation et la communalisation. Au Burkina Faso, la plus importante ville (Ouagadougou, 1,3 millions d'habitants) est en même temps la capitale politique. Le pays est divisé en 13 régions (45 provinces dont les chefs lieux sont d'office communes urbaines et 302 communes rurales). Outre Ouagadougou, on peut citer quelques villes comme Bobo-Dioulasso (capitale économique), Koudougou, Ouahigouya, Fada N'Gourma, Banfora, etc. En Côte d'Ivoire, Abidjan (3,2 millions d'habitants) est devenue capitale économique après l'érection de Yamoussoukro (ville natale du Feu Président Félix Houphouët-Boigny) en capitale politique en 1983. Depuis cette date, sa population a presque doublé (299 243 habitants) mais Bouaké (461 618 habitants) reste toujours la deuxième ville du pays. On peut citer également certains centres urbains comme Mans, Korogho, Daloa, etc. Notons que le territoire ivoirien est divisé en 34 départements, subdivisés en sous-préfectures [11]. Au Bénin, Cotonou (650 660 habitants), la capitale économique, reste le centre d'affaires à cause de son port. La capitale politique est officiellement Porto Novo (232 756 habitants)

Human environment

Benin, Burkina Faso and Côte d'Ivoire are three countries juxtaposed which represent only 20 % of the total area of eight member States of the West African Economic and Monetary Union (Union économique et monétaire ouest africaine (UEMOA)), but hold around 48% of all the Union's population [10] and abound with enormous natural potential to diversify socio-economic activities. These three countries united thus hold a strategic zone in the West African sub-region which carries numerous both ecological and economic stakes.

ADMINISTRATIVE ORGANIZATION

As all the other old French colonies, the administrative organization of these three countries, with a few exceptions, remains essentially the same and has experienced several divisions since the beginning of independence in 1960. First of all, these are

areas which were instituted since the colonial period until the mid-1970s then, in some cases, we witness the process of departmentalization, provincialization, and, currently, we are experiencing the era of regionalization and urbanization. In Burkina Faso, the most important city (Ouagadougou, 1.3 millions inhabitants) is also the political capital. The country is divided into 13 regions (45 provinces whose administrative centres are always urban municipalities and 302 rural municipalities). Aside from Ouagadougou, we can cite some cities like Bobo-Dioulasso (economic capital), Koudougou, Ouahigouya, Fada N'Gourma, Banfora, etc. In Côte d'Ivoire, Abidjan (3.2 million inhabitants) became the economic capital after the creation of Yamoussoukro (home town of the late President Félix Houphouët-Boigny) in the political capital in 1983. Since this date, its population has almost doubled (299 243 inhabitants) but Bouaké (461 618 inhabitants) still remains the second city of the country. We can also cite some urban centres like Mans, Korogho, Daloa, etc. We note that the Ivorian territory is divided into 34 departments, subdivided into sub-prefectures [11]. In Benin, Cotonou (650 660 inhabitants), the economic capital remains the business center due to its size. The political capital

même si Cotonou demeure le centre de décisions économiques, politiques et administratives. On peut également citer des villes comme Parakou (144 627 habitants), Abomey (55 000 habitants), Natitingou (50 000 habitants) [11].

En réalité, si on devait s'en tenir à la norme conventionnelle, les trois grandes villes de ces pays (Abidjan, Ouagadougou et Cotonou) réunies ne peuvent pas former une mégapole (au moins 10 millions d'habitants), à la limite, elles ne peuvent que constituer une agglomération (au moins 2 millions d'habitants).

DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Les sources d'informations démographiques (le recensement général de la population et de l'**habitat**²) bien que suivant le rythme périodique de dix ans ne coïncident pas la même année pour les trois pays. C'est pourquoi, les données du présent atlas seront tantôt celles de 2004 et 2007 [11] où des études sectorielles ont été menées à la fois dans ces pays mais également des données spécifiques par pays suivant son dernier recensement [12] ou enquête démographique.

Avec une superficie totale de 709 284 km², le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire, réunis, comptaient en 2004 une population de

35 651 000 habitants dont 6 446 000 du Bénin, 12 856 000 du Burkina Faso et 16 349 000 de la Côte d'Ivoire alors que tous les 8 pays membres de l'UEMOA avaient 74 101 000 habitants. En 2007, l'ensemble de la population de ces trois pays avoisinerait les 39 380 000 habitants avec 14 300 000 habitants au Burkina Faso [11], 17 000 000 d'habitants en Côte d'Ivoire [11] et 8 080 000 habitants au Bénin [11]; soit un taux d'accroissement annuel moyen de 3 %.

La répartition de la population est très inégale aussi bien à l'intérieur de chaque pays que dans l'ensemble des trois posant ainsi le problème de la pression démographique. Au Bénin en 2007, la densité globale a atteint 73 hbts/km² (les 3/4 de la population sont concentrés au sud du pays) et 46 % de la population habitent les villes. Au Burkina Faso, pour la même année, la densité était de 52,3 hbts/km² (seulement 1/4 de la population est citadin) tandis qu'en Côte d'Ivoire la densité moyenne atteignait de 54,4 hbts/km² (environ 1/2 de la population est citadin). Au total, la densité moyenne des trois pays, en 2007, a atteint 60 hbts/km² contre la moyenne de toute l'Afrique qui était de 29 hbts/km² alors que la moyenne mondiale s'établissait à cette période à 47,5 hbts/km² [12]. En d'autres

is officially Porto Novo (232 756 habitants) even if Cotonou remains the centre of economic, political and administrative decisions. We can also cite cities like Parakou (144 627 inhabitants), Abomey (55 000 inhabitants) and Natitingou (50 000 inhabitants) [11].

Actually, following the conventional standard, the three big cities of these countries (Abidjan, Ouagadougou and Cotonou) together do not form a megalopolis (at least 10 million inhabitants); they might only form an agglomeration (at least 2 million inhabitants).

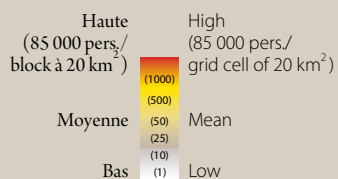
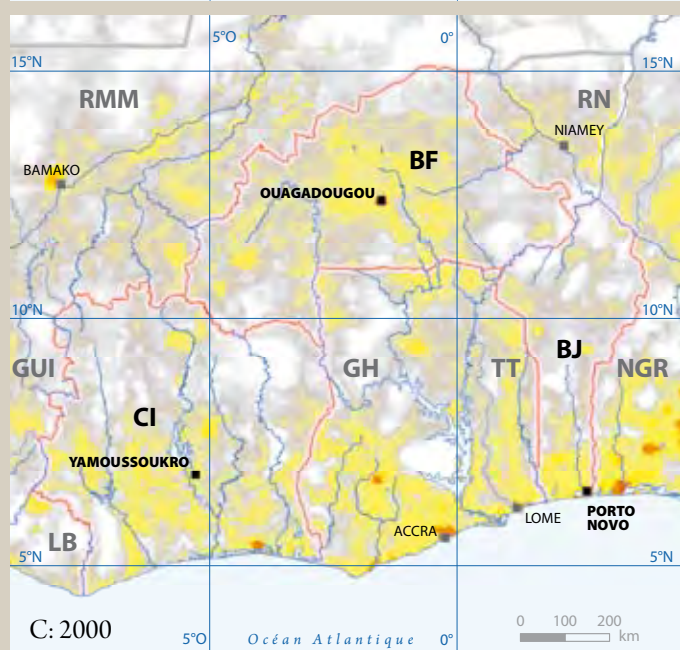
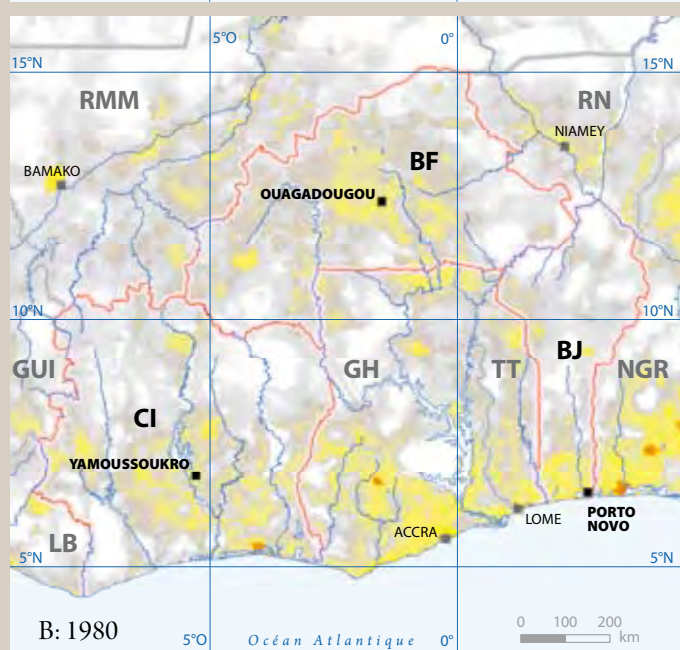
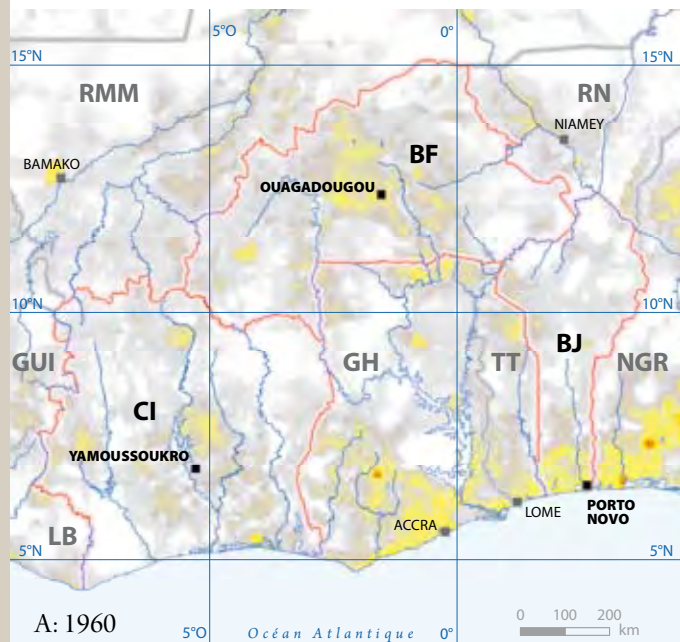
DEMOGRAPHIC DATA

The sources of demographic information (general census of the population and the **habitat**²), even though following the same periodic rhythm of ten years, do not fall in the same year in all three countries. This is why the data from the present atlas will be either from 2004 and 2007 [11] where the sectoral studies were undertaken both in these countries but also the specific data per country following its last census [12] or demographic survey.

With a total area of 709 284 km², Benin, Burkina Faso and

Côte d'Ivoire together counted a population of 35 651 000 inhabitants (hbts) in 2004 of which 6 446 000 were in Benin, 12 856 000 in Burkina Faso and 16 349 000 in Côte d'Ivoire while all the 8 member countries of the UEMOA have 74 101 000 inhabitants. In 2007, the entire population of these three countries would come close to 39 380 000 inhabitants with 14 300 000 inhabitants in Burkina Faso [11], 17 000 000 inhabitants in Côte d'Ivoire [11] and 8 080 000 inhabitants in Benin [11] or an annual average growth of 3 %.

The distribution of the population is very unequal both inside each country and between all three, which therefore poses the problem of demographic pressure. In Benin in 2007, the overall density reached 73 hbts/km² (3/4 of the population were concentrated in the south of the country) and 46 % of the population lived in cities. In Burkina Faso, for the same year, the density was 52.3 hbts/km² (only 1/4 of the population lives in cities) while in Côte d'Ivoire; the average density reached 54.4 hbts/km² (around 1/2 of the population lives in cities). In all, the average density of the three countries in 2007 reached 60 hbts/km² compared to an average throughout Africa of 29 hbts/km², while the worldwide average for this period was 47.5 hbts/km²



Carte 2.3: Densité de la population en 1960, 1980 et 2000 (carte A, B & C).

Map 2.3: Population density in 1960, 1980 and 2000 (map A, B & C).

termes, l'espace constitué de ces trois pays est surpeuplé (cartes 2.3 & 2.4).

La structure par sexe indique la supériorité numérique des femmes. L'indice synthétique de fécondité (ISF) ou le nombre moyen d'enfants nés vivants par femme est de 5,3 au niveau de toute la zone dont 6,2 pour le Burkina Faso [12] contre seulement 4,4 en Côte d'Ivoire [11]. La mortalité infantile est plus de 20 fois supérieure à celle observée en Europe occidentale et environ le double de la moyenne mondiale (environ 90 enfants de moins de 5 ans sont exposés au risque léthal sur 1 000 naissances). L'espérance de vie à la naissance est de 53,4 ans pour le Bénin, 49 ans pour le Burkina Faso et 48,6 ans pour la Côte d'Ivoire ; soit une moyenne de 50 ans. La pyramide des âges indique quant à elle une population très jeune dans l'ensemble des trois pays avec le cas remarquable pour le Burkina Faso où 48 % de jeunes de moins de 15 ans [11] contre 30 % dans le reste du monde [13].

DONNEES SOCIOCULTURELLES

Le français est la langue officielle de ces trois pays, chacun ayant environ une cinquantaine de langues (parfois parlées dans au moins deux des trois pays) et des dialectes pour des dizaines de groupes

[12]. In other words, the space constituted of these three countries is over-populated (Maps 2.3 & 2.4).

The structure per gender indicates more women. The total fertility rate (TFR) or number of children born per woman is 5.3 for the whole area, where we find 6.2 for Burkina Faso [12] versus only 4.4 in Côte d'Ivoire [11]. The infant mortality rate is more than 20 times higher than that observed in Western Europe and around double the worldwide average (around 90 children younger than 5 years of age are exposed to lethal risk for every 1 000 births). The life expectancy is 53.4 years for Benin, 49 years for Burkina Faso and 48.6 years for Côte d'Ivoire, or an average of 50 years of age. The age pyramid indicates a very young population in all three countries with the remarkable case for Burkina Faso where 48 % of the young is younger than 15 years of age [11] against 30 % in the rest of the world [13].

SOCIO-CULTURAL DATA

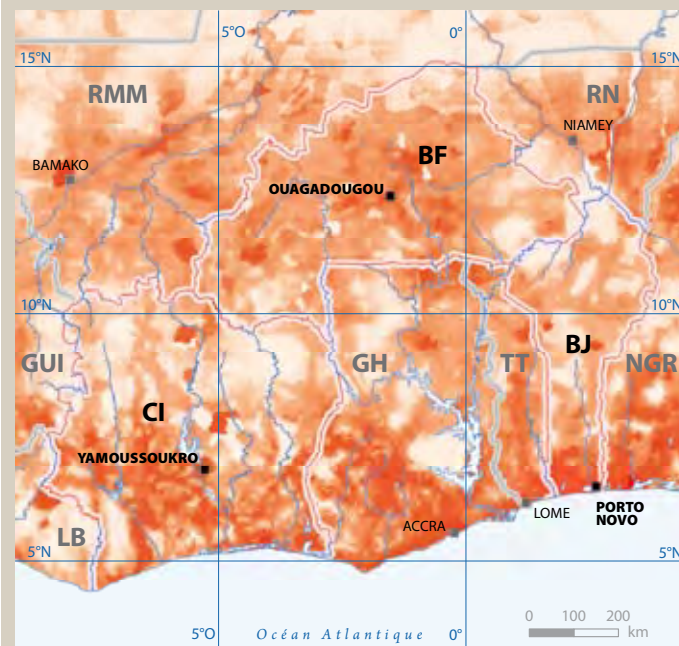
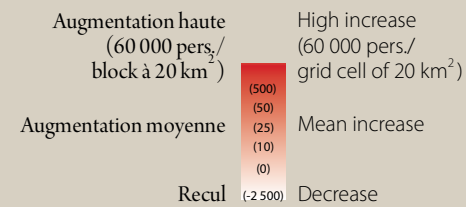
French is the official language in these three countries, of which each has approximately fifty languages (sometimes spoken in at least two of the three countries) and dialects for dozens of ethnic groups. The Beninese, for example, speak Fon, Haoussa

ethniques. Les Béninois par exemple parlent le fon, le haoussa et le yoruba mais au nord, ils partagent le gulmancema avec les gourmanché Burkinabè tandis qu'au Burkina Faso, c'est le moore qui domine avec le dioula mais aussi le lobiri et le sénoufo qui sont également parlés au nord ivoirien et en Côte d'Ivoire, on parle le baoulé, le bété, etc [11].

Dans tous les trois pays, on rencontre trois grandes religions : la religion traditionnelle, l'islam et le christianisme. Au Bénin, la religion traditionnelle est très répandue, notamment le vaudou, une croyance selon laquelle tout dans la nature possède une âme. C'est une forme de religion traditionnelle qui regroupe des pratiques magiques et des éléments empruntés au culte chrétien. En effet, plus de la moitié de la population pratique un vaudou marqué par de fortes tendances synchrétiques avec le christianisme à tel point qu'il semble devenir une religion d'Etat. Les chrétiens (catholiques et protestants) représentent 20 % de la population et vivent surtout dans le sud du pays et dans le nord vivent en majorité les musulmans qui forment 15 % de la population. En Côte d'Ivoire, malgré l'influence de la culture française, les cultures locales ont été préservées et dynamisées, comme en témoignent les arts plastiques (masques et statuaires). Chaque communauté possède des modes d'expression

and Yoruba, but in the North, they share Gulmancema with the Gourmanché Burkinabé. While in Burkina Faso, the Moore language dominates with Dioula, but also Lobiri and Sénoufo which are also spoken in the Ivorian north and in Côte d'Ivoire, Baoulé, Bété, etc. are spoken [11].

In all three countries, we find three main religions: Traditional religion, Islam and Christianity. In Benin, animism is very widespread, notably voodoo, a belief according to which everything in nature has a soul. It is a form of traditional religion that regroups magical practices and elements that were borrowed from Christian religion. Indeed, more than half the population practises voodoo marked by strong syncretic tendencies with Christianity to a point that it seems to become a State religion. The Christians (Catholics and Protestants) represent 20 % of the population and mostly live in the South of the country; in the North the majority are Muslim who form 15 % of the population. In Côte d'Ivoire, despite the influence of the French culture, the local cultures were preserved and given energy as the fine arts testify (masks and statuary). Each community has specific modes of expression (massive masks in the forest zones and slender masks in the savanna while in the Akan and the



Carte 2.4: Evolution de la densité de la population de 1960 à 2000.

Map 2.4: Change in population density from 1960 to 2000.

spécifiques (masques massifs dans les zones forestières et masques élancés dans les savanes tandis que chez les Akan et les Baoulé, c'est le travail de l'or qui constitue la base culturelle). Un cinquième de la population pratique le christianisme, un autre cinquième adhère à l'islam (surtout dans le nord), le reste de la population (surtout dans les campagnes) est demeuré fidèle à la religion traditionnelle. Au Burkina Faso, l'expression artistique des mosse, bobo et autres ethnies est proche de celle des peuples de la savane ivoirienne. L'art contemporain s'inspire de ces cultures traditionnelles mais également marqué par l'influence islamique et a développé une créativité originale autour de la récupération d'objets manufacturés. Le pays accueille tous les deux ans le festival panafricain du cinéma de Ouagadougou (FESPACO) qui s'est imposé sur le marché mondial sans oublier les autres manifestations telles « La semaine nationale de culture de Bobo-Dioulasso », « Les nuits atypiques de Koudougou », « Les masques de Dédougou », etc.[11].

Baoulé, the gold work constitutes the cultural basis). A fifth of the population in Côte d'Ivoire practises Christianity, another fifth adheres to Islam (especially in the North), the rest of the population (mostly in the countryside) remains faithful to traditional religion. In Burkina Faso, artistic expression of the Mosse, Bobo and other ethnicities is close to that of the peoples of the Ivorian savanna. Contemporary art is inspired by these traditional cultures, but also marked by the Islamic influence and developed an original creativity around the recuperation of manufactured objects. Every two years, the country welcomes the Pan-African Film Festival of Ouagadougou (FESPACO) which has imposed itself on the world market without forgetting other events like "The national Bobo-Dioulasso Culture Week" (La semaine nationale de culture de Bobo-Dioulasso), Atypical Nights in Koudougou (Les nuits atypiques de Koudougou), Dédougou Masks (Les masques de Dédougou), etc. [11].

PRINCIPALES ACTIVITES ECONOMIQUES

Agriculture, élevage et pêche

L'économie du Burkina Faso, du Bénin et de la Côte d'Ivoire repose essentiellement sur l'agriculture, chaque pays selon sa situation géophysique (Fig. 2.14). Le secteur agricole emploie environ 60 % de la population active (les $\frac{3}{4}$ de la population active burkinabè pratiquent l'agriculture) et contribue pour 30 % en moyenne dans le PIB de ces pays. Au Burkina Faso, les principales cultures vivrières sont le mil, le maïs et le sorgho mais le riz, le niébé et l'arachide sont également développés dans certaines régions sans oublier les tubercules beaucoup cultivés au sud et sud-ouest du pays. Les Béninois du nord vivent essentiellement de la culture de subsistance (manioc, igname, patate douce, mil, sorgho, maïs, arachide et haricot). Il en est de même pour la Côte d'Ivoire où les cultures vivrières locales sont le manioc, le riz, le maïs, le mil, l'arachide et l'igname. Les cultures de rente, quant à elles, varient selon les pays. En dehors de la canne à sucre cultivée au sud-ouest pour alimenter un complexe sucrier, la principale culture d'exportation au Burkina Faso est le coton (en 2005, il a été le premier producteur d'Afrique **subsaharienne**) qui est aussi cultivé dans le centre et le nord du Bénin mais

MAIN ECONOMIC ACTIVITIES

Agriculture, animal husbandry and fishing

The economy of Burkina Faso, Benin and Côte d'Ivoire relies mainly on agriculture, each country according to its geophysical situation (Fig. 2.14). The agricultural sector employs around 60 % of the active population ($\frac{3}{4}$ of the active Burkinabé population practises agriculture) and contributes 30 % of the GDP of these countries on average. In Burkina Faso, the main food agriculture is millet, corn and sorghum, but rice, black-eyed peas and peanuts are also found in some regions not to forget the tuber crops that are much cultivated in the South and South-West of the country. The Beninese in the North live mainly on subsistence crops (manioc, yam, sweet potato, millet, sorghum, corn, peanut and beans), similarly for Côte d'Ivoire, where the local food agriculture is manioc, rice, corn, millet, peanuts and yams. As for the cash crops, they vary according to the country. Aside from sugar cane cultivated in the South-West for a sugar refinery, the main export culture in Burkina Faso is cotton (in 2005, it was the first producer in **Sub-Saharan** Africa) which is also cultivated in the Centre and North of Benin, but mainly in

essentiellement au nord de la Côte d'Ivoire. Le cacao, le café, la canne à sucre, le palmier, l'hévéa et le soja sont surtout les principales cultures de rente en Côte d'Ivoire et au Bénin (la Côte d'Ivoire a été le premier producteur mondial du cacao avec 1 400 000 tonnes en 2006 et treizième pour le café au milieu des années 2000) [11].

Quasi-inexistant en Côte d'Ivoire et très peu développé au Bénin, l'élevage constitue la deuxième source de richesse du Burkina Faso (environ 8 millions de bovins en 2005). Le bétail est dirigé sur pied vers les pâturages plus riches du sud avant d'être expédié vers les zones de consommation de la côte. Le maintien de l'équilibre alimentaire et le souci de pallier les alés climatiques constituent un des grands problèmes du pays.

En revanche, la pêche est une activité très peu pratiquée au Burkina Faso par rapport au Bénin et moins encore, à la Côte d'Ivoire à cause de leurs façades maritimes. Toutefois, la pêche traditionnelle en rivières et dans les mares à la fin de la saison sèche est pratiquée partout où cela est possible (8 500 tonnes de poissons en 2005). La pêche en mer est très peu pratiquée au Bénin mais la majeure partie de poissons (environ 40 000 tonnes par an) est pêchée dans les rivières, les lacs et les lagunes. En Côte d'Ivoire, la pêche vivrière est

the North of Côte d'Ivoire. Cocoa, coffee, sugar cane, the palm tree, rubber tree and soy are mostly the main cash crops in Côte d'Ivoire and Benin. (Côte d'Ivoire was the world's biggest producer of cocoa with 1 400 000 tons in 2006 and thirteenth for coffee in the mid-2000s.) [11].

Almost non-existent in Côte d'Ivoire and not very developed in Benin, animal husbandry is the second source of wealth in Burkina Faso (around 8 million head of cattle in 2005). The livestock is herded on foot towards the richer pastures in the South before being sent to the area where the meat is consumed, on the coast. Maintaining food balance and the concern for compensating for the climatic vagaries are one on the country's great problems.

On the other hand, fishing is an activity that is not often practised in Burkina Faso compared to Benin and even less so compared to Côte d'Ivoire due to their seaboard. However, traditional fishing in rivers and in pools at the end of the dry season is practised everywhere it is possible (8 500 tons of fish in 2005). Sea fishing is not practised widely in Benin, and the majority of fish (around 40 000 tons per year) is fished in the rivers, lakes and lagoons. In Côte d'Ivoire, food fishing is practised on the

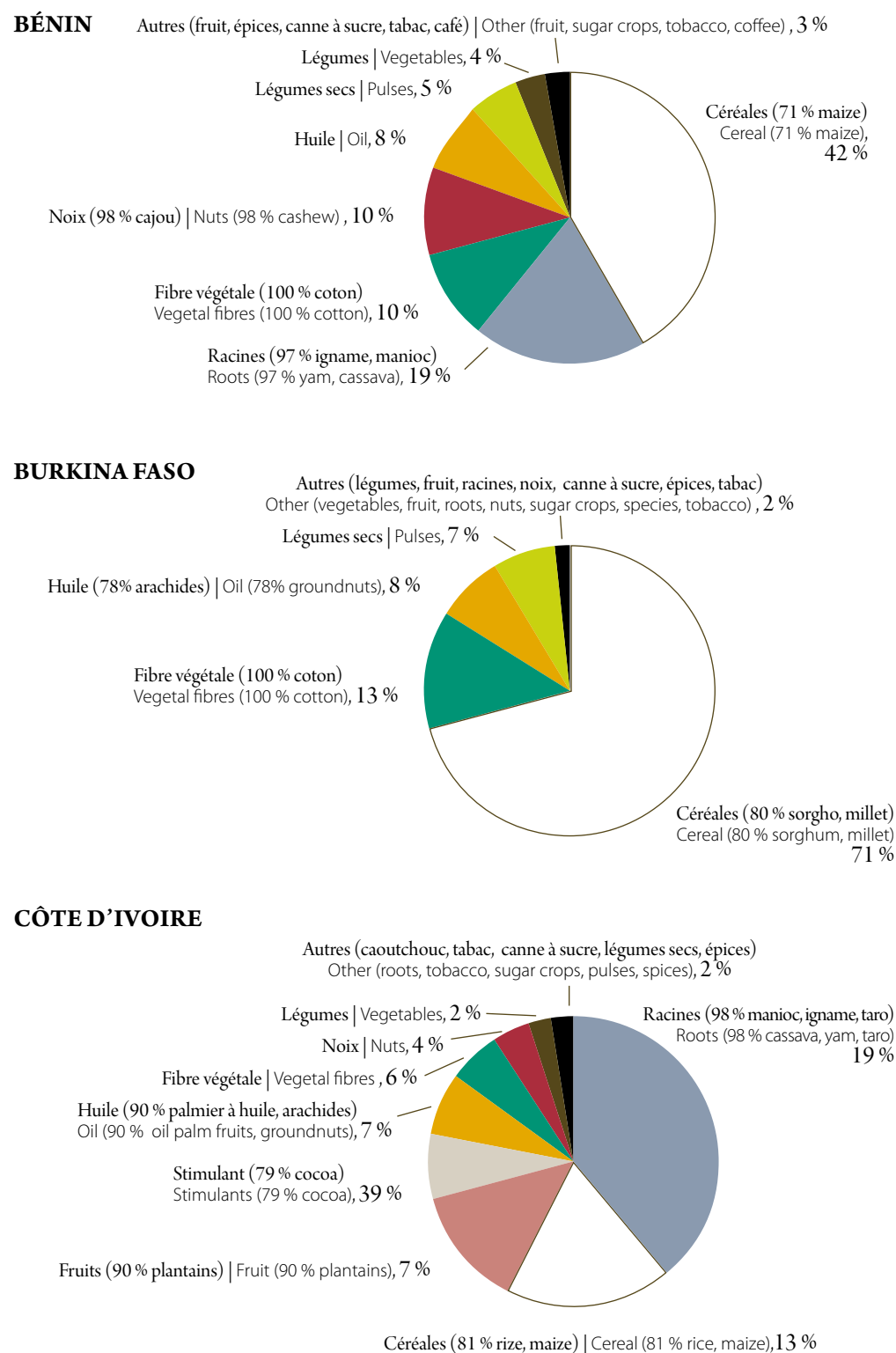


Fig. 2.14: Principales cultures au Bénin, au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire. | Main crops in Bénin, Burkina Faso and Côte d'Ivoire [FAO 2006: <http://faostat.fao.org/>].

pratiquée sur la côte dans les nombreuses rivières et lagunes tandis que la pêche maritime industrielle porte sur la sardine, le thon, la bonite et les crevettes (en 2004, les prises avoisinaient 55 000 tonnes de poissons) [11].

Industries, mines et énergie

En dehors de la Côte d'Ivoire où elle occupe 14 % de la population active et participe à hauteur de 20 % du PIB [11], l'activité industrielle est très peu développée au Bénin et reste embryonnaire au Burkina Faso. La plupart des unités industrielles des trois pays sont constituées des industries agroalimentaires (huiles de palme et de graine de coton, bière, sucre), des textiles, cuir et peaux, ainsi des articles de consommation courante (savon, motocyclette, chaussures, etc.).

Les potentialités en ressources minières, par contre, sont énormes dans l'ensemble des trois pays (même si elle est encore mineure en Côte d'Ivoire) mais très peu sinon très mal exploitées. Le pétrole est la principale ressource minière du Bénin (365 000 barils par an au début des années 2000) mais sa production reste inférieure à la demande intérieure. La production pétrolière lancée en 1980, trois ans après la découverte des premiers gisements offshore en Côte

coast and in numerous rivers and lagoons while industrial sea fishery carries on sardines, tuna, bonito and shrimp (in 2004, the takes were around 55 000 tons of fish) [11].

Industries, mines and energy

Apart from Côte d'Ivoire where it employs 14 % of the workforce and contributes around 20 % of GDP [11], industrial activity is not very developed in Benin and remains embryonic in Burkina Faso. The majority of industrial units of the three countries are made of **food chain**⁷ industries (palm oils and cotton seed, beer, sugar), textiles, hides and skins as well as articles of daily consumption (soap, motorcycles, shoes, etc.). However, the mining resource potentialities are enormous in all three countries (even if it is still minor in Côte d'Ivoire), but are very little or otherwise very badly exploited. Oil is the main mining resource in Benin (365 000 barrels per year at the beginning of the 2000s), but its production remains less than the internal demand. Oil production began in 1980, three years after the discovery of the first offshore fields in Côte d'Ivoire, has declined considerably. Burkina Faso is the only of the three countries to not to produce oil, but, on the other hand, holds a large

d'Ivoire a considérablement régressé. Le Burkina Faso est le seul des trois pays à ne pas produire du pétrole mais c'est par contre le pays qui recèle un fort potentiel minier et très varié allant de l'or au phosphate en passant par le zinc, bauxite, plomb, nickel (seul l'or est actuellement un peu exploité). L'or est également exploité en Côte d'Ivoire à la frontière avec le Liberia depuis 1990 tandis qu'au Bénin, c'est le calcaire de la région de Pobé qui entre dans la production du ciment.

Si l'électricité produite par l'usine hydroélectrique de Kossou (achevée en 1972 et située sur le Bandama Blanc au centre du pays) satisfait presque totalement les besoins énergétiques de la Côte d'Ivoire, le problème de l'énergie se pose avec acuité dans deux autres pays. Au Burkina Faso, l'électricité est produite dans des centrales thermiques dont la majeure partie fonctionne au pétrole raffiné. Malgré la mise en service des barrages de la Kompienga et de Bagré en 1993, les espoirs d'autosuffisance énergétique sont loin d'être atteints et le pays se tourne désormais vers l'interconnexion avec la Côte d'Ivoire qui alimente déjà la ville de Bobo-Dioulasso et ses environnants. Au Bénin, l'énergie provient principalement du Ghana, mais la baisse de production de la centrale ghanéenne d'Akossombo a touché en premier lieu ce pays qui partage les mêmes installations (petites

mining potential that is very varied, from gold to phosphate and zinc, bauxite, lead, nickel (currently only gold is being exploited a little bit). Gold is also exploited in Côte d'Ivoire at the border with Liberia since 1990, while in Benin, limestone from the Pobé region is used in the production of cement.

Although the electricity produced by the Kossou hydroelectric power plant (completed in 1972 and located in the Bandama Blanc at the center of the country) almost completely meets the energy needs of Côte d'Ivoire, the energy problem is acute in the two other countries. In Burkina Faso, electricity is produced in the power stations, largely running on refined oil. Despite the activation of the Kompienga and Bagré dams in 1993, the hopes of energy self-sufficiency are far from being achieved and the country is turning towards the inter-connection with Côte d'Ivoire, which already supplies the city of Bobo-Dioulasso and its surroundings. In Benin, energy comes mainly from Ghana, but the decrease in production of the Ghanaian Akossombo power plant really hit this country hard as it shares the same installations (small thermal power plants and a hydro complex) with Togo.

centrales thermiques et un complexe hydraulique) avec le Togo.

Commerce, transport et communication

Le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire font tous les trois partie des huit Etats membres de l'UEMOA et possède donc en commun le franc CFA comme monnaie, émise par la BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest). Depuis le 1er janvier 2000, et à la faveur de la libéralisation des échanges intracommunautaires et à l'établissement d'un cordon douanier (tarif extérieur commun), l'activité commerciale est très développée dans chacun de ces trois pays. En Côte d'Ivoire, le bois est le principal produit d'exportation avec le cacao et le café tandis qu'au Burkina Faso, c'est coton suivi du bétail, des noix de karité et l'arachide. Le Bénin exporte également du coton, du cacao, du sucre, du pétrole brut et des produits dérivés du palmier à huile. A quelques exceptions près pour la Côte d'Ivoire, la balance commerciale de ces pays est toujours déficitaire malgré les récents développements du commerce régional. Les principaux partenaires commerciaux de ces pays sont la France, le Portugal, l'Allemagne, les Etats-Unis et de plus en plus la Chine, la Thaïlande et les Emirats.

L'ensemble des trois pays possède environ 70 000 km de réseau

routier (dont 50 000 km pour la seule Côte d'Ivoire) parfois difficilement praticable en saison des pluies (surtout à l'intérieur des pays) mais presque toutes voies transfrontalières sont bitumées. En la Côte d'Ivoire, le train reliant Abidjan-Ouagadougou via Bobo-Dioulasso joue un rôle essentiel d'intégration avec le Burkina Faso et favorise les migrations saisonnières des habitants de ce pays vers les plantations de la zone forestière et les ports. Au Bénin, à partir de la grande artère qui longe la côte, environ 580 km de routes relient Cotonou et Porto Novo aux villes du centre et du nord comme Natitingou et Parakou, terminus de la ligne de chemin de fer de Cotonou. Sur la côte, le réseau ferré est connecté à celui du Togo et du Nigeria. Le port d'Abidjan, l'un des plus actifs d'Afrique de l'Ouest et celui de San Pedro en plein développement ainsi que le grand port de Cotonou servent également aux pays enclavés comme le Burkina Faso, le Mali et le Niger. Les aéroports d'Abidjan, de Ouagadougou et de Cotonou sont également les terminaux d'intense trafic.

Commerce, transportation and communication

Benin, Burkina Faso and Côte d'Ivoire are all part of the eight member States of the UEMOA and thus have the CFA franc issued by the Central Bank of West African States (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO)) as a common currency. As of January 1, 2000 to favour the liberalization of inter-community exchanges and the establishment of a customs border (exterior common tariff), commercial activity is very developed in each of the three countries. In Côte d'Ivoire, wood is the main export product followed by cocoa and coffee, while in Burkina Faso it is cotton followed by livestock, shea nuts and peanuts. Benin also exports cotton, cocoa, sugar, crude oil and products derived from the oil palm. With some exceptions for Côte d'Ivoire, the commercial balance of these countries is always negative despite the recent developments in regional commerce. The main commercial partners of these countries are France, Portugal, Germany, the United States and increasingly China, Thailand and the Emirates.

All three countries have around 70 000 km of road networks (of which 50 000 km are in Côte d'Ivoire alone) sometimes hard to pass in the rainy season (most of all in the interior of the

countries), but almost all cross-border roads are asphalted. In Côte d'Ivoire, the train connecting Abidjan-Ouagadougou via Bobo-Dioulasso plays an essential role connecting Côte d'Ivoire with Burkina Faso and facilitates seasonal migrations of the inhabitants of Burkina Faso towards plantations in the forest zone and ports. In Benin, besides the large road that runs along the coast, around 580 km of roads connect Cotonou and Porto Novo to the cities in the Center and North of the country, like Natitingou and Parakou, the terminus of the Cotonou train line. On the coast, the railway system is connected to that of Togo and Nigeria. The port of Abidjan, one of the most active in West Africa and that of San Pedro in full development as well as the large port of Cotonou also serve enclave countries like Burkina Faso, Mali and Niger. The airports of Abidjan, Ouagadougou and Cotonou are also terminals for intense traffic.

SOCIO-ECONOMIC INDICATORS

Access to education

Free teaching and primary education are obligatory in the three countries. Despite these efforts by public authorities, the

INDICATEURS SOCIOECONOMIQUES

Accès à l'éducation

L'enseignement gratuit et le cycle primaire est obligatoire dans les trois pays. Malgré ces efforts des pouvoirs publics, le taux de scolarisation reste très faible. Au Burkina Faso, le taux brut de scolarisation des enfants de 6-12 ans en 2006 est de 52,7 %. Au niveau du secondaire, le taux brut de scolarisation est de 21,8 %. L'enseignement supérieur est peu fréquenté par rapport aux autres degrés. En effet, le taux brut de scolarisation à ce niveau est 2,6 %. La situation est similaire au Bénin où le taux d'alphabétisation atteignait seulement 43,2% en 2005 et seuls 22% des enfants de 12 à 17 ans étaient scolarisés tandis que deux à trois dizaines de milliers d'étudiants seulement suivent des cours dans des universités, instituts et écoles supérieures du pays [13]. Malgré un ambitieux programme de télé-enseignement lancé en Côte d'Ivoire au début des années 1970 autour de la ville de Bouaké, en 1991, 47,5% des jeunes de 12 à 17 ans étaient scolarisés, 7% fréquentaient les établissements de troisième degré en 1998-1999 et en 2005, le taux d'alphabétisation était de 53,6 % [13].

proportion of children in full-time education remains very low. In Burkina Faso, the gross rate of children aged 6-12 years old in full-time education in 2006 is 52.7 %. At the secondary level, the gross rate of children full-time education is 21.8 %. Higher education is less frequented in relation to other degrees. Indeed, the gross rate of children in full-time education at this level is 2.6 %. The situation is similar in Benin where the literacy rate only reached 43.2 % in 2005 and only 22 % of children aged 12 to 17 years of age were in full-time education whereas 2 % to 3% of students only take classes in universities, institutes and higher learning schools in the country [13]. Despite an ambitious program of distance learning launched in Côte d'Ivoire at the beginning of the 1970s around the city of Bouaké in 1991, 47.5 % of youth between 12 to 17 years of age are in full-time education, 7 % went to post-secondary education establishments in 1998-1999 and in 2005, the literacy rate was 53.6 % [13].

Accès aux soins de santé

Le faible taux de couverture sanitaire, le sous-équipement, la recrudescence de très nombreuses maladies et l'extension du VIH/SIDA constituent les principaux indicateurs du mauvais état de santé du continent africain. Le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire ne sont pas épargnés de cette triste situation à cause de la prolifération d'insectes vecteurs de maladies. Plusieurs millions de populations ne disposent ni d'eau potable ni de services d'assainissement, les hôpitaux, dispensaires et autres équipements sanitaires restent dramatiquement insuffisants sans oublier la malnutrition qui rend vulnérables les organismes.

Access to health care

The low rate of health care, medical under-equipment, fresh outbreak of very numerous illnesses and the spread of HIV/AIDS constitute the main indicators of the bad state of health of the African Continent. Benin, Burkina Faso, and Côte d'Ivoire are not spared from this sad situation because of the proliferation of insects, which are illness vectors. Several million people does not have access to drinking water or to sanitation services. Hospitals, out-patient clinics and other health facilities remain dramatically insufficient, not to forget malnutrition that makes organisms vulnerable.

Tab. 2.5: Chiffres de base sur l'occupation des terres, la démographie, la santé et l'éducation au Bénin, au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire. | Basic figures on land use, demography, health and education in Benin, Burkina Faso and Côte d'Ivoire. [<http://faostat.fao.org>]

	BURKINA FASO	BÉNIN	CÔTE D'IVOIRE	Année Year
Capitale Capital	Ouagadougou	Porto-Novo	Yamoussoukro	
Ethnies Ethnicity	Mossi 50 %, Gurunsi, Senoufo, Lobi, Bobo, Mandé, Peulh, autres other	Fon et affiliés Fon and related 39 %, Adja, Yoruba, Bariba, Peulh, Ottamari, Yoa-Lokpa, Dendi, autres other (2002)	Akan 42 %, Voltaïques ou Gour, Mandé du Nord, Krou, Mandé du Sud, autres other (1998)	
Occupation des terres Land use				
Superficie (km ²) Surface area (km ²)	274 000	112 620	322 460	2006
% Terre agricole Agricultural land	40	32	64	2005
% Forêts Forest	25	21	32	2005
Produits agricoles Agricultural products	coton, arachide, amande de karité, sésame, sorgho, millet, maïs, riz; bétail cotton, peanuts, shea nuts, sesame, sorghum, millet, corn, rice; livestock	coton, maïs, manioc (tapioca), igname, haricot, huile de palme, arachide, noix de cajou; bétail cotton, corn, cassava (tapioca), yams, beans, palm oil, peanuts, cashews; livestock	café, cacao, banane, graine de palme, maïs, riz, manioc (tapioca), patate douce, canne à sucre, coton, caoutchouc; bois coffee, cocoa beans, bananas, palm kernels, corn, rice, cassava (tapioca), sweet potatoes, sugar, cotton, rubber; timber	
Industries	Fibre de coton, boisson, transformation de produit agricole, savon, cigarettes, textiles, or	textiles, transformation alimentaire, matériaux de construction, ciment	Denrées alimentaires, boissons; produits du bois, raffinerie d'huile, Montage de camion et de bus, textiles, engrais, matériaux de construction, électricités, construction et réparation de bateau	
Industries	Cotton lint, beverages, agricultural processing, soap, cigarettes, textiles, gold	textiles, food processing, construction materials, cement	foodstuffs, beverages; wood products, oil refining, truck and bus assembly, textiles, fertilizer, building materials, electricity, ship construction and repair	
Démographie et Santé Demography and Health				
Population Population	14 358 500	8 759 655	18 914 474	2006
Taux d'accroissement (%) Population growth (%)	3	3	2	2006
Expérience de vie à la naissance, total (année) Life expectancy at birth, total (years)	52	56	48	
Prévalence au VIH, total (% de la population d'âges compris entre 15-49) Prevalence of HIV, total (% of population ages 15-49)	2	2	7	2005
Population non agricole Non-agricultural population 1984 /2004	92 % / 92 %	35 % / 50 %	37 % / 55 %	
Population agricole Agricultural population 1984 /2004	8 % / 8 %	65 % / 50 %	63 % / 45 %	
Education Education				
Taux de scolarisation au primaire, total (% du groupe d'âges concerné) Primary completion rate, total (% of relevant age group)	31	65	43	2005/ 2006
Rapport fille-garçon à l'éducation primaire et secondaire (%) Ratio of girls to boys in primary and secondary education (%)	80	73	na	2005/ 2006
Utilisateurs de l'internet (par 100 personnes) Internet users (per 100 people)	1	8	2	2006

2.3

Climat et précipitations de l'Afrique de l'Ouest subsaharienne

Ulrike FALK
Jörg SZARZYNSKI

Depuis les inondations **subsahariennes**⁷ des années 70 et 80 du XXème siècle, les recherches sur les analyses spatiales et temporelles des anomalies en matière de précipitations en Afrique de l'Ouest attirent l'attention du monde entier. Notamment en ce qui concerne le **changement climatique**⁷ prévu (Rapport IPCC 2007 [14]), qui laisse présager un alourdissement de l'impact sur l'environnement et la civilisation. L'étude du climat et du système de moussons de l'Afrique de l'Ouest dans le passé devient impératif et servira de base pour la conception de scénarios plus réalistes sur le climat et les précipitations à l'avenir.

Dans la partie nord de la région étudiée, qui englobe le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire et le Bénin, les modèles de précipitations sont dominés par des systèmes de méso-échelle en ligne de grains très organisés dans un système annuel de précipitations monomodales.

Sub-Saharan West Africa climate and precipitation regime

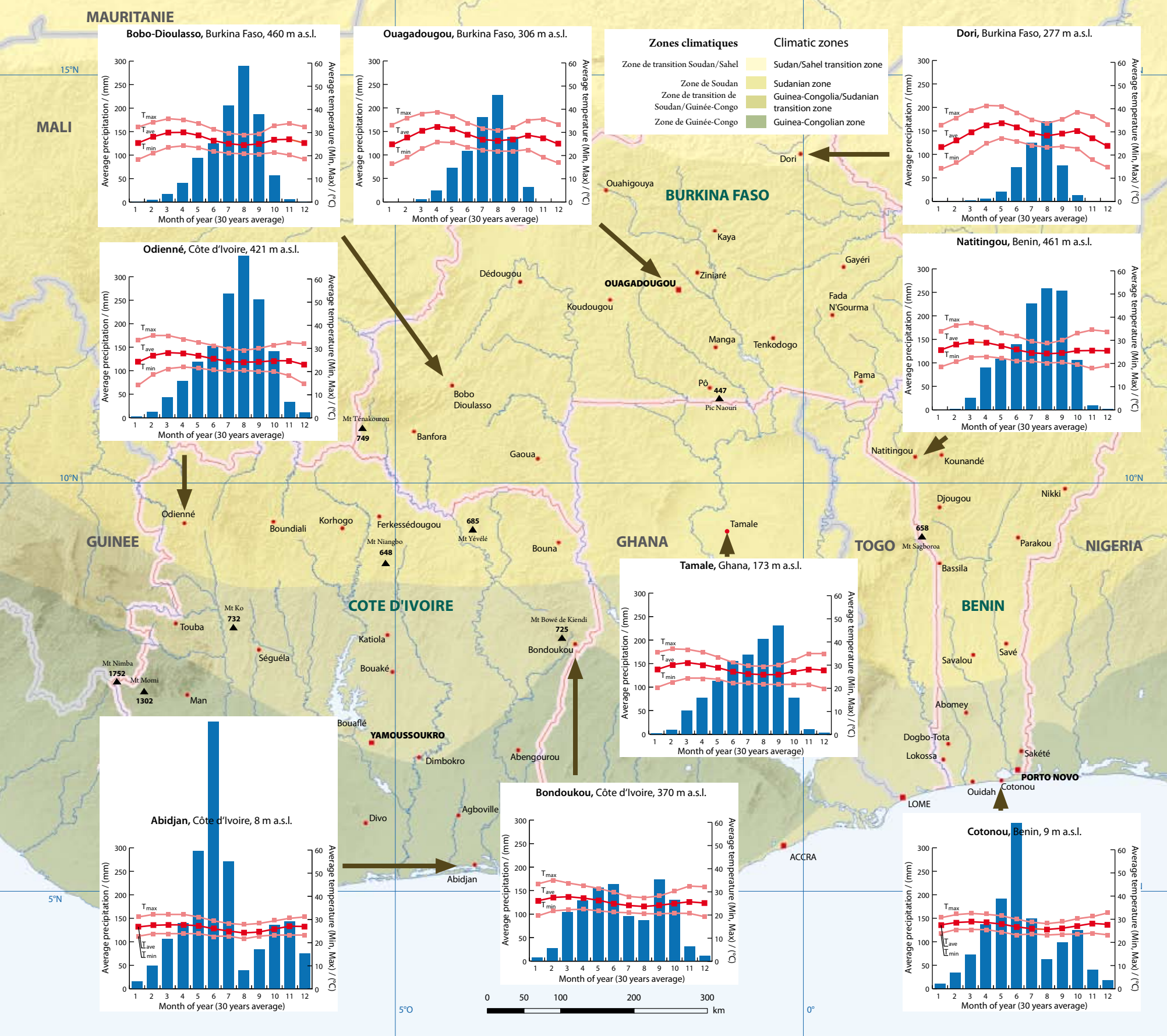
Since the **Sub-Saharan**⁷ drought in the 70's and 80's of the 20th century, the investigation of spatial and temporal rainfall anomalies in West Africa has become the focus of global attention. In especially with regard to the projected **climate change**⁷ (IPCC report 2007 [14]), impacts on environment and human livelihood are expected to become more severe in future. Understanding the climate and monsoon system of West Africa of the past is thus obligatory and forms the basis of more realistic climate and precipitation scenarios for the future.

In the northern part of the study region encompassing Burkina Faso, Côte d'Ivoire and Benin, the rainfall patterns are dominated by highly organized mesoscale squall line systems in a monomodal annual precipitation pattern. Southwards towards the moister Guinea coast, rain fall patterns get more dominated

Plus au sud, vers la côte guinéenne, les modèles de précipitations sont plutôt dominés par les convectifs organisés et désorganisés dans une saison de pluie annuelle bimodale (Carte 2.5). La zone de convergence intertropicale (ZCIT) est définie par le thalweg de basses pressions près de l'équateur, par l'effet du réchauffement de l'air près de la surface **terrestre**⁷, provoqué par l'intensité exceptionnelle du rayonnement de l'énergie solaire. L'air est de fait moins dense et s'élève à grande échelle tout au long de la ZCIT. Les masses d'air ascendantes se refroidissent de façon **adiabatique**⁷ provoquant la condensation de la vapeur d'eau, c'est-à-dire la formation de nuages. L'évaporation au sol et la condensation en dessus transporte donc l'énergie thermique de la surface vers des couches plus hautes de l'atmosphère. Au niveau de la tropopause à environ 14-18 km au-dessus du sol, l'écoulement d'air est poussé horizontalement vers les pôles en se comprimant de manière graduelle vers les plus basses altitudes. Par conséquent, les masses d'air descendent et elles se réchauffent lors de leur descente à environ 30° de latitude Sud et Nord en formant une région de systèmes stables de hautes pressions. L'air de ces systèmes de haute pression s'écoule en fonction des gradients de pression vers la basse pression du thalweg équatorial en formant un système de vent plutôt stable. En raison de

by organized and unorganized convection in a bimodal annual rainy season (Map 2.5).

The Inner-Tropical Convergence Zone (ITCZ) is defined by the equator-near low pressure trough that is caused by maximal solar radiative energy input heating the surface near air. The air becomes less dense and thus rises on large scale along the ITCZ. The ascending air cools down **adiabatically**⁷ so that water vapour condenses, i.e. clouds form. The evaporation at the ground and condensation above thus transports heat energy from the surface to higher up into the atmosphere. At the tropopause in about 14-18 km above ground, the air flow is directed horizontally towards the poles becoming gradually compressed towards the lower latitudes. The air masses thus descend and while descending get warmer at about 30° latitude South and North forming a region of stable high pressure systems. Air from those high pressure systems flows according to the pressure gradient towards the equatorial low pressure trough constituting a rather stable wind system. Due to the earth's rotation, these winds get an Easterly component, forming the North-Easterly and the South-Easterly trade winds. The ITCZ is named after the conjunction of this flow regime. Due



Carte 2.5: Zones climatiques de l'Afrique de l'Ouest et localisation des stations synoptiques utilisées par le Biophysical Observation Network (BON), le Réseau d'Observation Biophysique. | **Map 2.5:** Climate zones of West Africa and location of synoptic stations used for the Biophysical Observation Network (BON).

la rotation de la terre, ces vents reçoivent une composante d'Est, qui forme les alizés soufflant du Nord vers l'Est et du Sud vers l'Ouest. Le ZCIT reçoit son nom de la convergence de ces masses d'air. En raison de l'écliptique de la terre, le ZCIT modifie sa position annuellement en fonction du zénith solaire. En fonction de la saison, donc, la plupart des régions tropicales sont sous l'influence de différents alizés, qui dominent les modèles annuels de précipitations. Un alizé s'appelle une mousson quand il montre un net changement de direction saisonnier. Ceci est le cas, par exemple en Afrique de l'Ouest, entre les mois de mai et d'août quand le ZCIT se déplace vers le Nord et que l'alizé du Sud vers l'Est se convertit en un alizé soufflant du sud vers l'Ouest lors de son passage aux latitudes du Nord. Les masses d'air transportent beaucoup d'humidité durant leur passage dans le Golfe de Guinée et sont apte à la formation de nuages et de précipitations. La position la plus au Nord du ZCIT est à environ 11°N [15] et la position la plus au Sud, près de l'équateur sur le Golfe de Guinée. Les alizés soufflant du Nord vers l'Ouest transportent l'air chaud et sec du Sahara, souvent appelé **Harmattan**⁷, tandis que les alizés soufflant du Sud vers l'Est sont chargés d'air humide et frais du Golfe de Guinée. La région qui sépare les deux différentes masses d'air et constitue la zone de convergence en

to the earth's ecliptic, the ITCZ changes its position seasonally according to the solar zenith. Most tropical regions therefore are seasonally under the influence of different trade wind regimes dominating yearly rainfall patterns. A trade wind is called monsoon if it shows a distinct seasonal change in direction. This is for instance the case during the months of May to August in West Africa, when the ITCZ is moving northwards and the South Easterly trade wind becomes a South Westerly trade wind when crossing to the Northern latitudes. The air masses carry a lot of moisture from its passage over the Gulf of Guinea which is available for cloud formation and precipitation. The northernmost position of the ITCZ is at about 11°N [15] and its southernmost position near the equator above the Gulf of Guinea. The North-Easterly trade winds carry the dry hot air from the Sahara often referred to as **Harmattan**⁷, whereas the South-Easterly trade winds are fraught with cool moist air from the Gulf of Guinea. The region that separates the two different air masses and builds the surface confluence zone is specific for West Africa and is called InterTropical Front (ITF) with its northernmost position at about 20°N and southernmost position at 7°N [15].

surface est spécifique à l'Afrique de l'Ouest et reçoit le nom de Front Intertropicale (FIT), dont la position la plus au Nord est à environ 20°N et la position la plus au Sud à 7°N [15].

La mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO) est le deuxième plus grand système de mousson sur terre, allant du Cap Vert jusqu'aux montagnes éthiopiennes [15]. Ses intervalles de sécheresse sévère pouvant se prolonger sur des longues périodes allant de plusieurs décennies à quelques siècles, sont caractéristiques des moussons et sont liés aux variations naturelles des températures de l'Océan Atlantique [16].

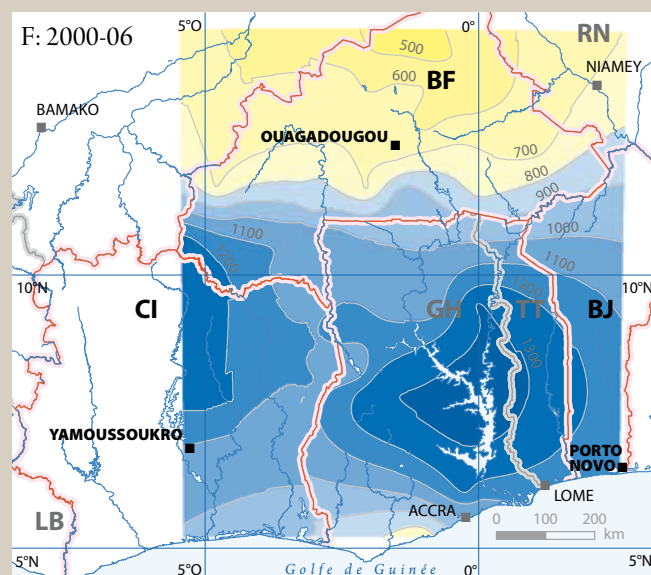
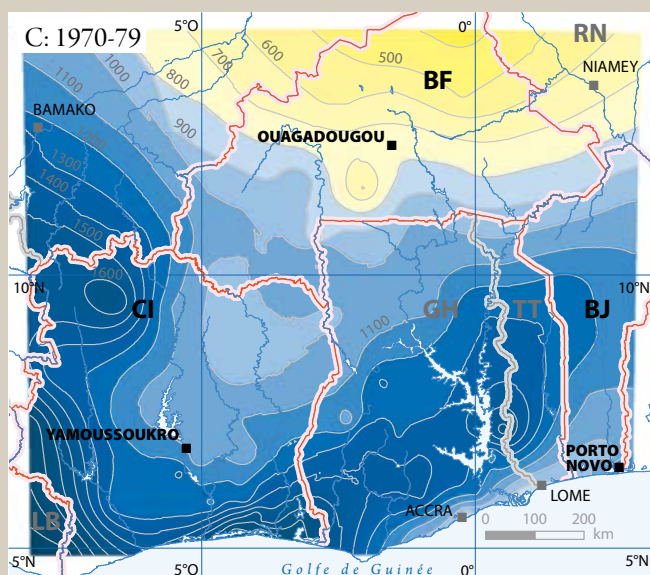
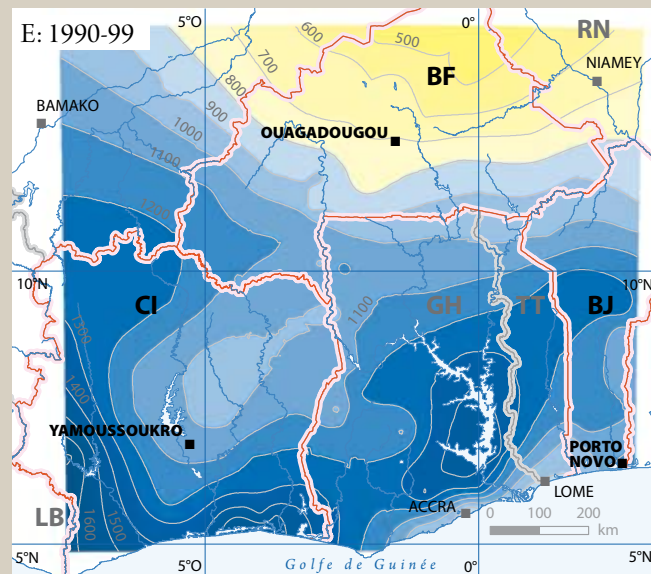
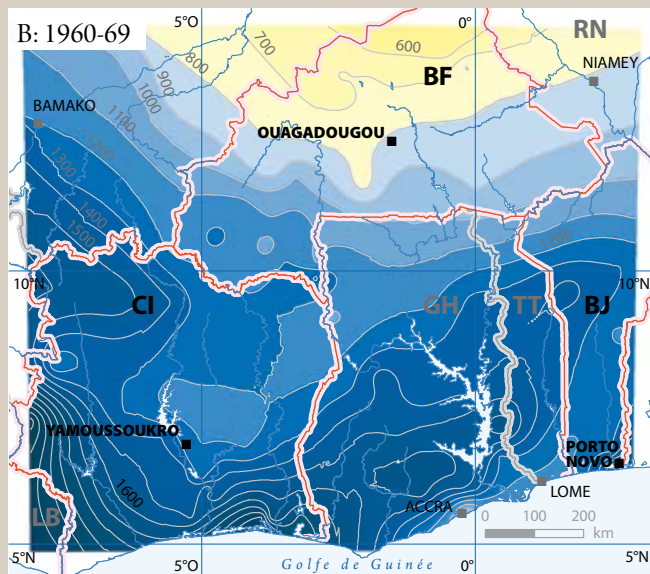
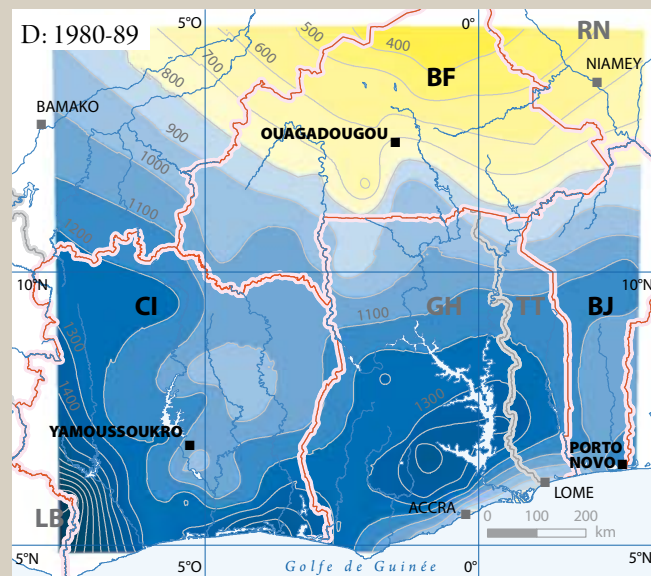
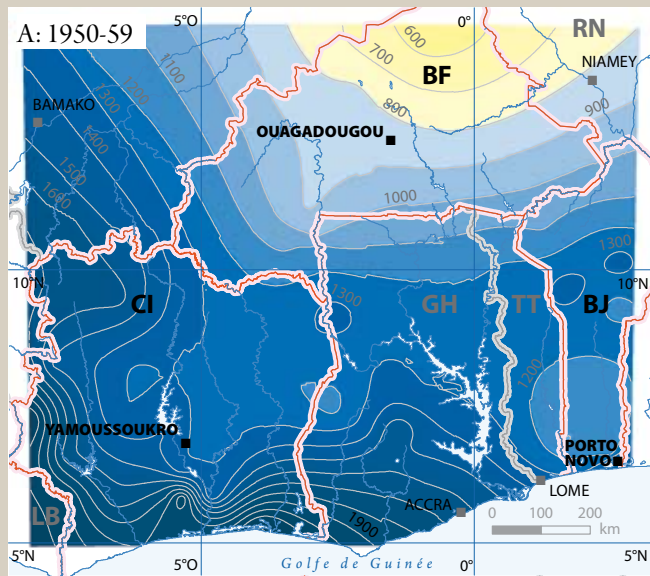
NOS PROPRES RECHERCHES ET RESULTATS SUR LE CLIMAT

Dans le cadre des projets **BIOTA Ouest**⁷ et GLOWA Volta, un réseau de stations micrométéorologiques et climatologiques ont été installées dans les principales régions de recherche du Burkina Faso et du Bénin (Fig. 2.15 et 2.16). Les emplacements exacts des sites ont été choisis en fonction de la représentativité des zones climatiques et des questions de recherche globales des projets BIOTA et GLOWA, afin d'obtenir un maximum d'effets synergétiques avec

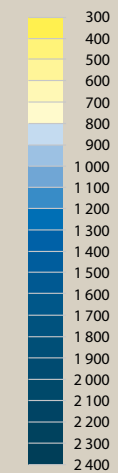
The West African monsoon (WAM) is the second biggest monsoon system on earth reaching from the Cape Verde to the Ethiopian highlands [15]. Its intervals of severe drought lasting for periods ranging from decades to centuries are characteristic of the monsoon and are linked to natural variations in Atlantic temperatures [16].

OWN CLIMATE RESEARCH AND RESULTS

Within the framework of the **BIOTA West**⁷ and the GLOWA Volta projects, a network of micrometeorological and climatologic stations were installed in the main investigation region of Burkina Faso and Benin (Fig. 2.15 and 2.16). The exact locations of sites were chosen in accordance with representativeness of climate zones and overall research questions of BIOTA and GLOWA, to achieve the maximum of synergetic effects with other BIOTA topics. Map 2.5 shows the location of the stations of the Biophysical Observation Network (BON) across West Africa. The main observed variables are wind velocity and direction, air temperature and humidity, precipitation, radiation components, i.e. incidental solar radiation, atmospheric and land surface longwave radiation as well as **photosynthetic**⁷ active



Précipitation (mm)
Précipitation (mm)



Carte 2.6: Taux des précipitations décennales ouest africaines observées et extrapolées aux cinq décennies passées (A-E) et à la période 2000- 2006 (F).
Map 2.6: West African decadal precipitation amounts observed and interpolated for the past five decades (A-E) and for the time period 2000- 2006 (F).

d'autre thèmes de recherche du projet BIOTA. La carte 2.5 montre l'emplacement des stations du Réseau d'Observation Biophysique (BON - Biophysical Observation Network) à travers l'Afrique. Les principales variables observées sont la vitesse et la direction du vent, la température et l'humidité de l'air, les précipitations, les composants du rayonnement, c'est-à-dire le rayonnement solaire secondaire, les rayonnements atmosphériques et de surfaces à longues ondes, ainsi que le rayonnement **photosynthétiquement** actif, mais aussi les paramètres du sol, comme la teneur en eau, la température et le flux thermique.

Parallèlement aux données de terrain dérivées des sites de recherches du projet, nous avons rassemblé et réunie dans une même base de données, les données fournies par les services météorologiques en l'Afrique de l'Ouest, ainsi que celles provenant d'organisations internationales comme l'IRD (Institut de la Recherche pour le Développement) et la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), dans le cadre du projet GLOWA auprès du Centre de Recherche pour le Développement (ZEF) de Bonn, en Allemagne.

Nous avons analysé et contrôlé les données sur le climat pour attester leur qualité. Nous avons contrôlé les valeurs extrêmes de toutes

radiation, and soil parameters, such as soil water content and temperature, as well as soil heat flux.

Alongside the field data from the project owned research sites, data of the national meteorological services in West-Africa as well as of international organizations as IRD (Institut de la Recherche pour le Développement) and FAO (Food and Agriculture Organization), were collected and brought together in a joint data base developed within the framework of the GLOWA project at the Center for Development Research (ZEF), Bonn, Germany.

The climate data were analyzed and controlled for quality. Extreme values of all climate stations were checked on plausibility and accordingly deleted when judged not trustworthy. Core of the quality assessment was a comparison of extreme values in the time series data of one climate station with the measured values of the surrounding climate stations of the same time period. Data were assumed realistic, if extreme values occurred in the time series data of neighbouring stations as well. Based on time series analysis and geostatistical interpolation by kriging, georeferenced maps of different climatic variables were compiled.

les stations climatiques pour en vérifier la vraisemblance et éliminer celles que nous n'avons pas jugées fiables. Le point fort de l'évaluation de qualité a été une comparaison des valeurs extrêmes des données chronologiques d'une station climatique avec les valeurs mesurées dans les stations climatiques voisines sur la même période. Nous avons estimé que ces données étaient réalistes, si les valeurs extrêmes se produisaient également dans les données chronologiques des stations voisines. À partir des analyses chronologiques et de l'interpolation géostatistique par krigeage, nous avons dressé des cartes géoréférencées des différentes variables climatiques.

La carte 2.6 montre la distribution des précipitations annuelles sous formes de valeurs moyennes décennales pour l'Afrique de l'Ouest. Les points **relevés** sont les **isohyètes**, c'est-à-dire les lignes joignant sur une carte les points où la hauteur de précipitation recueillie, est la même au cours d'une période donnée.

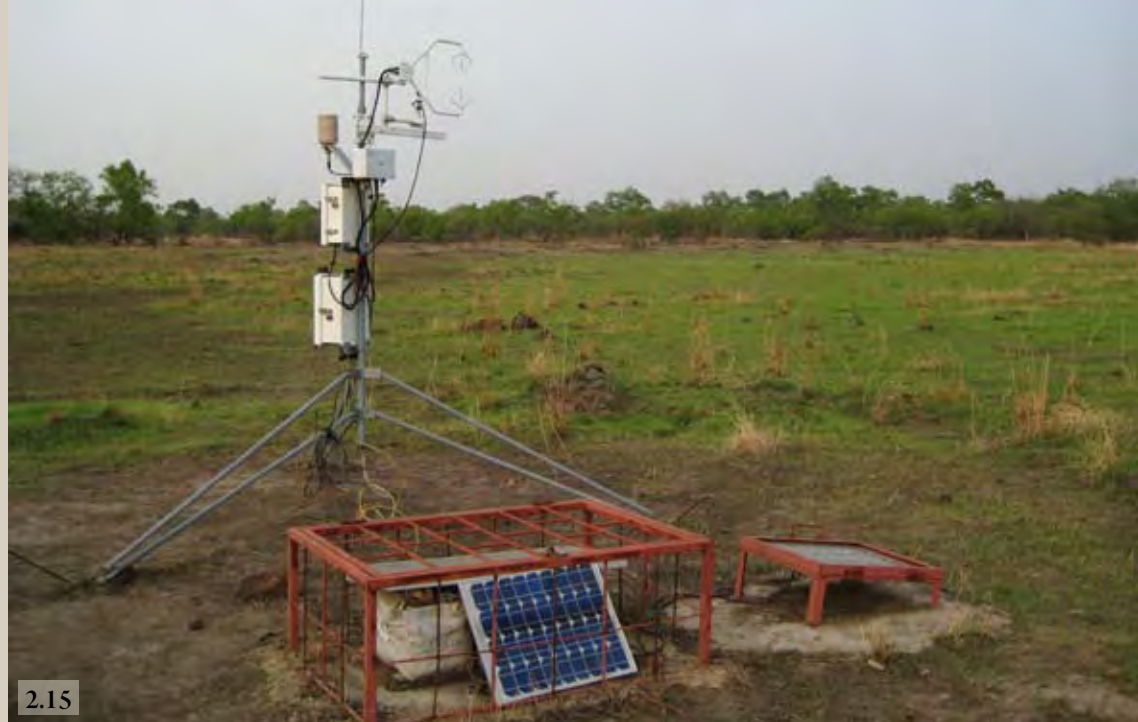
Dans les stations d'étude on peut noter une forte baisse de la hauteur des précipitations annuelles avec son apogée dans les années 80, signalé ici comme un déplacement des isohyètes vers le sud au fil des décennies. Les recherches sur l'analyse des sédiments des lacs ghanéens ont révélé l'occurrence périodique d'inondations

Map 2.6 shows the distribution of annual precipitation as **decadal** averaged values for West Africa. Plotted are **isohyets**, i.e. interpolated lines of same amount of decadal averaged annual precipitation amounts. In the **plots** a rather dramatic decline in annual rainfall amounts can be seen with its peak in the 80's, here shown as a southward movement of the isohyets over the decades. Research on sediment analysis of Ghanaian lakes has shown periodical appearance of droughts in the history of West Africa. The southward movement of isohyets in map 2.6 can be seen best in the Northern part of the study area, i.e. Burkina Faso. It shows a very homogeneous movement with a strong North-South gradient. For instance in the North of Burkina Faso a decadal mean reduction in annual precipitation amount of about 100 mm from the 50's and the 70's can be seen, which amounts to 20 % and more of the 50 yr's average. This drop in annual rainfall persists during the past forty years. Towards the moister Guinea coast, rainfall is more dominated by organized and unorganized convection related to the topography of the area, showing a bimodal annual precipitation pattern. Thus the influence of the mountain ranges in Western Côte d'Ivoire can be clearly seen. The climatologic patterns described in the

dans l'histoire de l'Afrique de l'Ouest. Le déplacement vers le Sud des isohyètes tel qu'on l'aperçoit sur la carte 2.6 peut être spécialement apprécié sur la partie Nord du site d'étude, c'est-à-dire le Burkina Faso. On aperçoit un mouvement très homogène avec un fort gradient Nord-Sud. En l'occurrence, au Nord du Burkina Faso, on note une réduction moyenne décadaire des précipitations annuelles d'environ 100 mm depuis les années 1950 aux années 1970, ce qui représente 20 % de la moyenne sur 50 ans. Cette chute des précipitations annuelles persiste depuis les quarante dernières années. Vers la côte humide guinéenne, les précipitations sont plutôt dominées par des convectifs organisés et désorganisés en accord avec la topographie de la région, affichant un modèle annuel de précipitations bimodales. Ainsi, l'influence des chaînes de montagnes sur la côte Ouest de la Côte d'Ivoire paraît évidente. Les modèles climatologiques décrits dans l'introduction sont reflétés dans les stations de distribution décadaire des précipitations. Il a été identifié [16] une variable à l'échelle de sous-siècle d'environ 40 ans sur le modèle WAM et des indications que les inondations de longue durée sont une caractéristique de la région. Les auteurs suggèrent encore que le WAM a varié sur une échelle multi-décadaire au moins pendant les derniers 3 000 ans. Il semble donc impératif de mettre au point des

introduction are reflected in the plots of decadal rainfall distributions. Shanahan et al. [16] find a sub-century-scale variability of about 40 years in WAM patterns and indications that long-lasting droughts are a regular feature for the region. The authors further suggest that the WAM has varied on a multidecadal time scale for at least the past 3 000 years. Thus, a development of strategies in order to be able to cope with drought situation on a long term seems imperative in especially for the semi-arid region in West Africa.

The reduction in annual rainfall is only one aspect of the problem. The intra-annual distribution of precipitation over the year and particularly its inter-annual variability is important for water management and agriculture, especially when referring to rain-fed agriculture. Planting too early or too late before the onset of the rainy season will result in yield loss. The analysis of the climate data shows a distinct change in intra-annual distribution of rain fall amount, in especially a pronounced North-South gradient. For the semi-arid or Sahel zone, there is one distinct rainy season that lasts approximately from May to October with peak rain fall expected in August. The more humid Guinea coast shows two less pronounced rainy seasons with maximum



2.15



2.16

Fig. 2.15: Station micro météorologique du Parc National de Bontioli près de Dano, Burkina Faso, opérationnelle de 2004 à 2009. | Micrometeorological station in Bontioli National Park near Dano, Burkina Faso, in operation 2004 until 2009. UFA

Fig. 2.16: Station micro météorologique du site agricole de Boudtenga à environ 30 km à l'Est de Ouagadougou, Burkina Faso, opérationnelle de 2004 à 2010. | Micrometeorological station in Boudtenga Agricultural Site about 30 km East of Ouagadougou, Burkina Faso, in operation 2004 until 2010. UFA

stratégies pour faire face à des situations d'inondations sur le long terme, notamment pour la région semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. La réduction des précipitations annuelles n'est qu'un aspect du problème. La distribution intra-annuelle des précipitations au long de l'année et, plus particulièrement, sa variabilité inter-annuelle est importante pour la gestion de l'eau et de l'agriculture, notamment en ce qui concerne l'agriculture sans irrigation. Planter trop tôt ou trop tard avant le début de la saison des pluies peut entraîner une perte de rendement. L'analyse des données sur le climat montre un changement significatif dans la distribution intra-annuelle des précipitations, spécialement sur un gradient Nord-Sud prononcé. Dans la zone semi-aride ou le Sahel, la saison des pluies distincte s'étend environ du mois de mai au mois d'octobre, avec un pic de précipitations prévu au mois d'août. Sur la côte plus humide de la Guinée, on observe une saison des pluies moins prononcée, avec une probabilité maximale de précipitations pendant les mois de février à juin et de septembre à novembre.

Laux et al. [17] ont analysé les variabilités au début de la saison des pluies et la possibilité de prévision du début de la saison des pluies afin de fournir une meilleure estimation du moment idéal pour initier les semailles. Leurs analyses des jeux de données climatiques

probability for rainfall during the months of February to June and September to November.

Laux et al. [17] have investigated the variability in the onset of the rainy season and the possibility of forecasting the onset of the rainy season in order to provide a better estimate of the correct start of sowing time. Their analysis of the climate data sets shows negative trends in monthly precipitation amounts as well as in number of wet days, but also a higher inter-annual variability in the onset of the rainy season.

Climatological research in Pendjari National Park, Northern Benin

The Biophysical Observation Network (BON) was setup to provide highly accurate meteorological and biophysical ground truth data within the research area to characterize main research sites and to serve as a reference for data acquired from secondary sources. One of the focal research areas lies within the Pendjari National Park in Northern Benin (see also map 1.1). The climate station was setup in 2004 right in the center of the Park. Our data, acquired from October 2004 until 2008, show a distinct rainy season lasting from May to September/October.

montrent une tendance négative dans le volume de précipitations annuelles tout comme dans le nombre de jours humides, mais aussi une plus grande variabilité inter-annuelle au début de la saison des pluies.

Recherches climatologiques dans le parc national de Pendjari au Nord du Bénin

Le Réseau d'Observation Biophysique (BON) a été créé afin de fournir des données météorologiques et biophysique de terrain à l'intérieur de la zone de recherche, pour caractériser les principaux sites de recherches et servir de références pour les données obtenues de sources secondaires. L'un des points chauds des zones de recherches se trouve à l'intérieur du Parc National de la Pendjari au Nord du Bénin (voir également la carte 1.1). La station climatique a été créée en 2004 en plein cœur du parc. Nos données, obtenues entre octobre 2004 jusqu'en 2008 signalent une saison des pluies distincte allant de mai à septembre/octobre. L'humidité moyenne mensuelle est en dessous de 10 % pendant la saison sèche et dépasse 90 % pendant la saison des pluies. On remarque également un changement distinct dans la température du sol d'une saison à une autre, avec des températures au-dessus de 30°C pendant la saison

Monthly mean relative humidity is below 10 % during the dry season and above 90 % during the rainy season. Also in the soil temperature a distinct change during the seasons can be seen, with well above 30°C during the dry and below 30°C in the rainy season. This signal is also reflected in the minimal and maximal temperature signal. During the dry season, temperature differences between night and day are a lot higher due to higher longwave emission from the earth during night leading to lower nighttime temperatures (Tmin), and higher daytime temperatures (Tmax) due to higher incidental solar radiation at clear sky days. The overall net radiation, i.e. the sum of all outgoing and incoming long- and shortwave radiation components shows also a pronounced seasonal cycle, with values at daily averages of 40-50 W/m² during the dry season accounting for higher nighttime emission, and 110-120 W/m² during rainy season with low daytime incidental solar radiation balancing small nighttime longwave emissions probably due to cloud cover.

sèche et en dessous de 30°C pendant la saison des pluies. Ce signal est également reflété dans le signal minimal et maximal de température. Pendant la saison sèche, les différences de température entre la nuit et le jour sont plus marquées en raison des plus grandes émissions de longueurs d'ondes de la terre pendant la nuit, provoquant des températures nocturnes plus basses (T_{min}) et des températures diurnes plus élevées (T_{max}) du fait du rayonnement solaire secondaire plus élevé lors des journées sans nuages. Le rayonnement global net, c'est-à-dire, la somme de tous les composants des rayonnements d'ondes courtes et longues, entrants et sortants, laisse entrevoir un cycle saisonnier prononcé, avec des valeurs moyennes journalières de 40-50 W/m^2 pendant la saison sèche, par effets des émissions nocturnes plus élevées, et de 110-120 W/m^2 pendant la saison des pluies avec un faible rayonnement solaire secondaire pendant la journée, équilibrant les faibles émissions nocturnes à ondes longues, probablement en raison de la couverture nuageuse.

Reconstruction du climat à partir d'échantillons de bois

Bettina ORTHMANN, Jochen SCHÖNGART, Klaus Josef HENNENBERG, Martin WORBES & Stefan POREMBSKI

La **dendrochronologie**⁷ aide à modéliser les anciennes conditions climatiques sous les tropiques. Les chronologies présentées sont les premières variables de substitution à long terme pour l'Afrique de l'Ouest tropicale et quelques-unes des plus longues chronologies de cernes réalisées sous les tropiques à ce jour. Elles permettent d'apprécier le rapport entre la croissance des arbres et les précipitations. L'analyse des séries chronologiques met en relief une aridité croissante dans le bassin de l'Ouémé Supérieur (au Bénin) au cours des 160 dernières années.

On trouve des cernes dans les régions où la dormance périodique est suscitée par les conditions climatiques, telles que des basses températures, des inondations ou des modèles de précipitations saisonnières avec une saison sèche bien distincte. Là où les conditions climatiques signalent une fluctuation annuelle, chaque cerne équivaut à une année. Ceci permet de déduire l'âge des arbres. En particulier, les espèces d'arbres Leguminosae **décidues**⁷, en l'occurrence *Azalia africana*, *Daniella oliveri*, *Isorberlinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*, présente un fort potentiel pour les études dendroclimatiques en Afrique de l'Ouest (comparer Tarhule & Hughes [18]) en raison de leurs

cernes annuels distincts, l'âge avancé des arbres et la sensibilité de leur réponse aux variables climatiques.

Les échantillons de bois de six espèces d'arbres (*Azalia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Daniella oliveri*, *Diospyros abyssinica*, *Isorberlinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*) ont été collectés dans le bassin de l'Ouémé Supérieur. Pour chaque espèce, 1 ou 2 rondelles ont été prélevées afin d'étudier en détail les caractéristiques spécifiques du bois. Les cœurs de 100 arbres ont été extirpés à l'aide d'une tarière de Pressler de 5 mm de diamètre. Les cœurs et les échantillons de tronc ont été séchés puis polis avec un papier de verre d'un grain de 600 µm, afin d'analyser **macroscopiquement**⁷ la structure des cernes. Grâce à cette analyse il a été possible de délimiter les cernes des espèces étudiées (Fig. 2.17). Les cernes ont été mesurés dans la largeur à l'aide d'un dispositif numérique de mesure. (Pour plus de détails sur la méthode, voir [18] et [19]).

Une chronologie maîtresse de la série de largeurs de cernes de *A. africana* and *P. erinaceus* a été mise au point pour procéder à la reconstruction du climat. Pour les deux espèces, la croissance annuelle est étroitement liée aux précipitations annuelles dans le bassin de l'Ouémé Supérieur. À partir du rapport entre la chronologie maîtresse et les précipitations répertoriées de nos jours et auparavant jusqu'en 1920 il a été possible d'établir un modèle statistique (de régression linéaire). Ce modèle permet ensuite de reconstruire de manière rétroactive le modèle de précipitations jusqu'à 1840. Un filtre statistique (un filtre passe-bas de moyenne mobile pondérée avec une bande de fréquence de 11 ans) explore la variabilité des modèles de précipitations reconstruits dans le bassin de l'Ouémé Supérieur. Il signale une aridité croissante au cours des 160 dernières années, avec des épisodes humides prononcés vers la fin des années 1850 et au début des années 1890, ainsi que des périodes distinctement sèches entre 1895 et 1920 (Fig. 2.18).

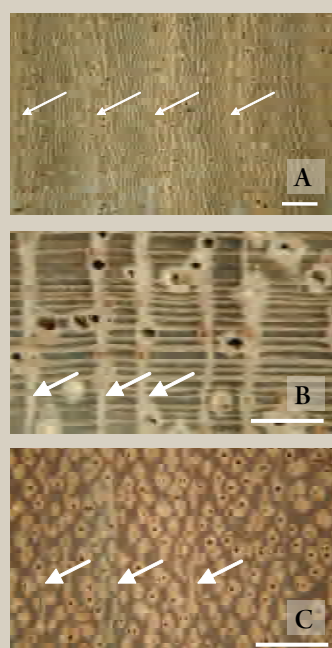


Fig. 2.17: Zones de croissance dans les bois d'espèces tropicales de l'Afrique de l'Ouest: A-B Limites de croissance délimitées par les bandes de parenchymes marginaux: A) *Isorberlinia doka*, et B) *Daniellia oliveri* montrant des substances cristallines dans la bande de parenchymes terminaux (Caesalpiniaceae). Les limites de croissance sont caractérisées par des variations dans la distribution des vaisseaux: C) *Pterocarpus erinaceus* (Fabaceae). Les flèches indiquent les limites des cernes de croissance des arbres; les barres blanches horizontales représentent une longueur de 1 mm. | Growth zones in wood of tree species from tropical West Africa. A–B Growth boundaries delimited by marginal parenchyma bands: A) *Isorberlinia doka*, and B) *Daniellia oliveri* showing crystalline substances in the terminal parenchyma band (Caesalpiniaceae). Growth boundaries characterised by variations in the vessel distribution: C) *Pterocarpus erinaceus* (Fabaceae). Arrows indicate tree ring boundaries; white horizontal bars represent a length of 1 mm. JSC

Climate reconstruction from wood samples

Dendrochronology⁷ can contribute to the modeling of past climate conditions in the tropics. The presented chronologies are the first long-term dendroclimatic proxies for tropical West Africa and one of the longest tree-ring chronologies in the tropics developed so far. The relationship between tree growth and local precipitation can be shown. Time series analysis highlights an increasing aridity in the Upper Ouémé catchment (Benin) during the last 160 years.

Tree rings are found in regions where periodical dormancy is induced by climatic conditions like cold temperatures, flooding or by seasonal precipitation patterns with a distinct dry season. Where climatic conditions show an annual fluctuation each tree ring indicates one year. This allows the determination of the age of trees. Especially the **deciduous**⁷ legume tree species, e.g. *Afzelia africana*, *Daniella oliveri*, *Isobertinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*, have a high potential for dendroclimatic studies in West Africa (compare Tarhule & Hughes [18]) due to distinct annual rings, the high tree ages and the sensitive response to climatic variables.

Wood samples of six tree species (*Afzelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Daniella oliveri*, *Diospyros abyssinica*, *Isobertinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*) were taken in the Upper Ouémé catchment. For each species 1 – 2 stem discs were taken to gain detailed knowledge on the specific wood characteristics. From 100 trees cores were extracted by an increment borer with an inner diameter of 5 mm. The core and stem samples were dried and then polished with sandpaper up to a grain of 600 μm , and tree-ring structure was analysed **macroscopically**⁷. The ring boundaries of analysed species were characterised (Fig. 2.17). Ring widths were measured with a digital measuring device. (For details on method see [18] and [19]).

For climate reconstruction a master chronology of the ring-width series from *A. africana* and *P. erinaceus* was build. In both species yearly

increment is highly correlated to annual precipitation in the Upper Ouémé catchment. From the relation of the master chronology and known rainfall from today back to the year 1920 a statistical (linear regression) model is derived. This model then allows the reconstruction of the precipitation patterns back to the year 1840. A statistical filter (low-pass filter weighted moving average with a bandwidth of 11 years) explores the variability of the reconstructed rainfall patterns in the Upper Ouémé catchment. It indicates an increasing aridity in the region during the last 160 years with pronounced wet episodes occurring during the late 1850s and early 1890s and distinct drought periods between 1895 and 1920 (Fig. 2.18).

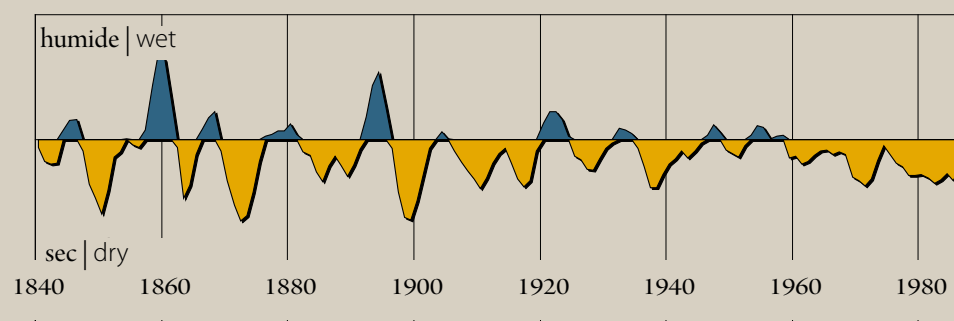


Fig. 2.18: Reconstruction de la variabilité statistique des précipitations annuelles dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé (UOC) (moyenne mobile pondérée calculée à partir d'une Fenêtre de Hamming de 11 ans) indiquant des épisodes secs (zones grises) et humides (zones noires). D'après les résultats de Schöngart et al. [19]. | Low-pass filter of the reconstructed annual precipitation at the UOC-site (moving average weighted with a 11-year Hamming window) indicating dry (grey areas) and wet episodes (black areas). Results from Schöngart et al. [19].

Changement climatique en Afrique de l'Ouest

Abdourahamane KONARÉ

Jeu de données sur modèle

Le jeu de données sur modèle a été fourni par l'initiative AMMA-ENSEMBLE dans le cadre du projet CORDEX. Nous avons utilisé les résultats du modèle de simulation ICTP-RegCM afin de projeter les futures tendances climatiques en Afrique de l'Ouest. Le forçage latéral provient des réanalyses de ERA Interim. Le climat de l'Afrique de l'Ouest est montré tel que simulé par le Modèle de Climat Régional Version 3 (RegCM3) du Centre International pour la Physique Théorique (ICTP) pour la période allant de 1990 à 2100 en utilisant les données des réanalyses National Era Interim comme conditions aux limites latérales.

Changement prévu

La figure présente des simulations des futurs changements prévus pour les précipitations et les températures de juin, juillet, août (JJA), respectivement pour les périodes de 2020-2030 et de 2050-2060. Les changements de distribution prévus des précipitations (Cartes 2.7) et des températures (Cartes 2.8) concernent la région de l'Afrique de l'Ouest située entre 0-15° N et 15° O-5° E.

Les zones guinéennes (la Sierra Leone, le Liberia, le Sud de la Côte d'Ivoire et le Ghana) subiront des mois JJA plus humides au cours des décennies 2020 par rapport à la période actuelle (1990-2000). Pendant la même période, le sud du Mali et le Burkina Faso (en dessous de 12° N) seront plus secs tandis

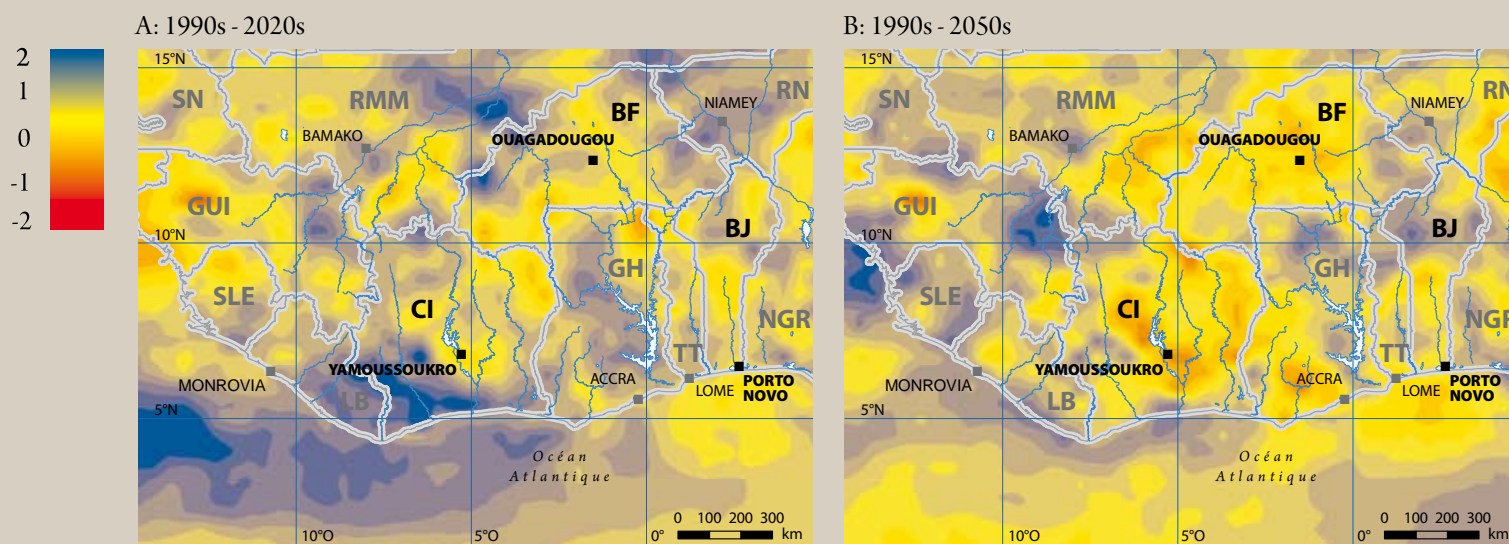
que le Nord-Est de la Côte d'Ivoire et le Nord du Sahel (au-dessus de 12° N) seront plus humides. Au cours des années 2050, les zones sèches s'étendront jusqu'à couvrir tout le territoire, à l'exception du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire et le nord du Ghana, du Togo et du Bénin.

Futur changement des précipitations

Le Sud et toute la région Ouest, du Sud jusqu'au Nord de la Côte d'Ivoire se feront plus humide (d'environ 20 %) dans un avenir proche tandis que le Nord-Est et le centre du pays se feront plus secs (Carte 2.7A). Dans la région Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, la zone de précipitations maximales s'amoindrit (environ 25 %), le front sec progresse vers deux positions opposées : vers le Sud (Côte d'Ivoire) et vers le Nord (Burkina Faso). A moyen terme, c'est-à-dire dans les années 2050, la tendance au dessèchement sera exacerbée, en atteignant quasiment toutes les régions de ces deux pays (Carte 2.7B).

Futur changement des températures

Toute la région présentera une tendance à l'accroissement continu des températures. La hausse des températures dans les régions de latitudes supérieures sera plus marquée que dans les régions de latitudes inférieures. Le réchauffement sera plus important au Nord-Est de la Côte d'Ivoire et au Sud du Burkina Faso et moins rapide tout au long de la zone côtière Atlantique au cours des années 2020 (Carte 2.8A). La même région subira la hausse de température la plus prononcée d'environ 2° C pendant les années 2050 (Carte 2.8B).



Carte 2.7: Changements de précipitations prévus (mm/jour) A: décennies 2020 comparé à la période actuelle (1990-2000) et B: decennies 2050 comparées comparé à la période actuelle. | **Map 2.7:** Prognosted rainfall change (mm/day) A: in the 2020s compared to the 1990s and B: in the 2050s compared to the 1990s.

Climate change in West Africa

Model Dataset

The model datasets were obtained from the AMMA-ENSEMBLE initiative as part of the CORDEX project. We have used the ICTP-RegCM3 model simulation results to project future climate trends in West Africa. The lateral forcing is from the new ERA Interim reanalyses. The West African climate is shown as simulated by the International Centre for Theoretical Physics (ICTP) Regional Climate Model version 3 (RegCM3) over the period 1990 through 2100 using the National Era Interim reanalysis data as lateral boundary conditions.

Projected change

The figure shows simulations of projected future change of June, July, and August (JJA) rainfall and temperature for the two time periods 2020-2030 and 2050-2060. The distributed projected changes in rainfall (Maps 2.7) and temperature (Maps 2.8) are for the West African region between 0-15N and 15W-5E.

The Guinean areas (Sierra Leone, Liberia, Southern Côte d'Ivoire and Ghana) will experience wetter JJA months compared to the present period (1990-2000), during the 2020s decade. In the same period southern Mali and Burkina (below 12N) will be drier, whereas northwest of Côte d'Ivoire and northern Sahel (above 12N) will be wetter. During the 2050s, the dry areas will expand to cover the whole domain except over northwest of Côte d'Ivoire and north of Ghana, Togo and Benin.

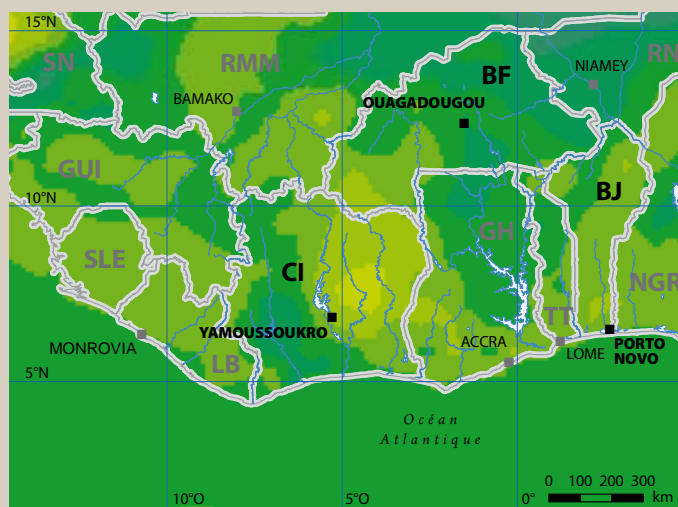
Future rainfall change

The south and the whole western region from the South to the North of Côte d'Ivoire will become wetter (about 20 %) in the near future, whereas the North East and central part of the country become drier (Map 2.7A). From the north east region of Côte d'Ivoire, the area of maximum rainfall decreases (about 25 %), the drying front progresses towards two opposite directions: the South (Côte d'Ivoire) and the North (Burkina Faso). In the mid term future of the 2050s, the drying trend will be exacerbated, reaching quite all the regions of these two countries (Map 2.7B).

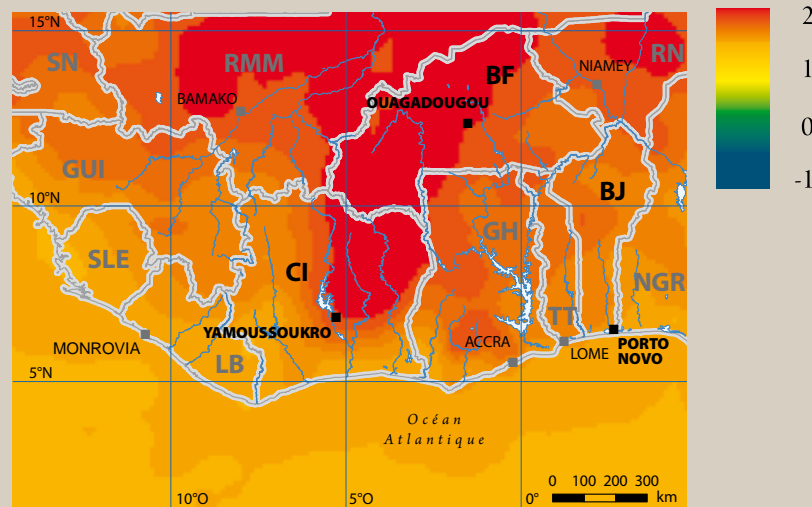
Future temperature change

The entire region exhibits a continuously increasing trend of temperature. Upper latitude regions will experience higher temperature increase as compared to lower latitude regions. Warming is greatest in the northeast of Côte d'Ivoire and the south of Burkina Faso, least rapid in the coastal zone along the Atlantic during the 2020s. (Map 2.8A) The same region will experience the most pronounced temperature increase of about 2 °C, during the 2050s (Map 2.8B).

A: 1990s - 2020s



B: 1990s - 2050s



Carte 2.8: Changements de températures prévus (°C) A: décennies 2020 comparé à la période actuelle (1990-2000) et B: décennies 2050 comparées comparé à la période actuelle.. | **Map 2.8:** Prognosted temperature change (°C) A: in the 2020s compared to the 1990s and B: in the 2050s compared to the 1990s .

2.4

Les sols de l'Afrique de l'Ouest : contraintes agronomiques et dégradation

Cheikh A. Tidiane ANNE
Jürgen RUNGE
Dorothea KAMPMANN

Faisant partie de l'écosystème[?], les sols évoluent et changent sous l'influence de compartiments écologiques comme le climat, la végétation, le relief et les activités de l'homme. Ce sont des manteaux d'altération dynamiques et sensibles qui forment la transition en roche fraîche. En Afrique de l'Ouest, la **dégradation**[?] des sols représente une grave contrainte et menace aussi bien la production agricole que la **biodiversité**[?].

PEDOGENESE

Les propriétés des sols en Afrique de l'Ouest sont définies par la roche-mère, le relief et le climat. La formation et l'évolution des sols (**Pédogenèse**[?]) en Afrique de l'Ouest se caractérisent par une alternance entre :

- La phase géomorphologique stable et humide de formation

Soils of West Africa: agronomic constraints and degradation

As part of the **ecosystem**[?] soils develop and change under the influence of environmental factors such as climate, vegetation, relief and human activities. They are highly dynamic and sensitive, weathering mantles forming the transition to the fresh rock. In West Africa soil **degradation**[?] represents a serious constraint and threatens agricultural production as well as **biodiversity**[?].

PEDOGENESIS

Soils properties in West Africa are characterized by the parent bedrock, relief and climate. The formation and evolution of soils (**Pedogenesis**[?]) in West Africa is characterized by an alternation between:

- A geomorphological stable and humid phase of soil formation with particular massive weathering of the bedrock and

du sol avec une dégradation massive particulière du substrat rocheux;

- Une phase instable et aride d'activité géomorphologique : la couverture végétale diminue et permet donc de supporter le décapage des altérites ainsi que l'aplanissement (etchplanation en anglais) résultant de l'érosion.

Dans les paysages naturels ou paisibles, les phases alternantes de la pédogenèse en Afrique de l'Ouest peuvent s'apprécier dans le profil des sols, c'est-à-dire dans la succession verticale des différentes couches, permettant ainsi une caractérisation des sols. Dans les zones dégradées, on observe une succession latérale des horizons des sols, par exemple à l'intérieur d'un même **transect**[?] pédologique. La pédogenèse en Afrique de l'Ouest se caractérise également par les processus géomorphes comme la formation et l'évolution des surfaces d'aplanissement sur lesquelles se développent les sols et qui sont souvent couvertes de ferrihydrites. Les surfaces d'aplanissement se divisent d'un point de vue géomorphologique en haut, moyen et bas glacis [20].

- An instable and arid phase of geomorphogenetical activity. The vegetation cover is decreased and thus the stripping of alterites and the lowering (etchplanation or aplanissement) by erosion is supported.

In the undisturbed or natural landscape, the alternating phases in the West African pedogenesis can be seen in soil profiles, i.e. vertical succession of different layers, allowing a characterization of soils. In the degraded areas a lateral succession of soil horizons can be observed, e.g. within a pedological **transect**[?]. Pedogenesis in West Africa is also characterized by geomorphic processes as formation and evolution of planation surfaces or "surfaces d'aplanissement" in which soils develop, which are often capped by ferricretes. These planation surfaces are geomorphologically divided into high, middle and low glacis [20].

LATERITISATION PROCESSES

Lateritisation[?] threatens the successful utilization of soil for agriculture and retards or even prohibits the growth and or regeneration of woody plants. Thus, the development of lateritisation processes and formation of lateritic crusts accelerated mainly

Études des sols

Cheikh A. Tidiane ANNE

La géologie et la géomorphologie sont des parties importantes de la recherche sur la science du sol. Elles ont été reconnues dans les années 1960 et 1970 en tant qu'approches intégratives car les processus des sols et les processus géomorphologiques sont souvent conjointes et que les différences entre la géomorphologie et la pédologie sont souvent floues [27]. La recherche moderne ne cesse de démontrer la forte dépendance du sol et de la géomorphologie et la promeut comme une nouvelle discipline, « la géomorphologie ou pédogéomorphologie du sol » telle que proposée par Conacher & Dalrymple [28]. Dans le cadre de la **biodiversité**⁷, le sol en tant que système d'entretien de la vie (par la décomposition de la matière organique, la formation de la structure du sol et l'apport de substances nutritives pour les plantes), contribue largement à la variété de services essentiels pour un fonctionnement durable de l'**écosystème**⁷. L'étude des sols fournit également les outils pour l'intégration des composants de la biodiversité (génétiquement, la diversité spécifique et écologique) et pour la compréhension des causes et des conséquences de la variabilité spatiale de la biodiversité.

La recherche sur les sols en Afrique de l'Ouest est étroitement associée au bureau français ORSTOM, aujourd'hui nommé IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Les études menées sur la formation et l'évolution des sols en Afrique de l'Ouest concernent fondamentalement trois domaines différents :

1. Les recherches agropédologiques portent sur l'étude de la dynamique des sols afin d'adapter les techniques d'utilisation des sols aux conditions climatiques et au **changement climatique**⁷ [29].
2. L'étude de l'équilibre de la matière et l'équilibre dynamique (hydrique et géochimique) de la ligne de partage des eaux ou la mensuration de l'érosion sur différents types de sols [28].
3. L'expérimentation avancée de processus définis sur les sols, comme l'appauvrissement en particules fines dans l'horizon supérieur en Côte d'Ivoire [31], le cycle de l'aliage [25].

Outres les domaines de recherche décrits plus haut, les études FAO qui classifient les principales unités de sols et l'évaluation de leur valeur agronomique sont primordiales pour comprendre leurs propriétés.

Soil studies

Geology and geomorphology are important parts in soil science research. They were recognized in the 1960s and 1970s as an integrative approach because many soil and geomorphological processes are combined and the distinction between geomorphology and pedology is blurred at the edges of the disciplines [27]. Modern research is increasingly demonstrating the close dependence of soil and geomorphology and is promoted to a new discipline, "soil geomorphology or

pedogeomorphology" as proposed by Conacher & Dalrymple [28].

Within the framework of **biodiversity**⁷, soil as life-support system (such as the decomposition of organic matter, the formation of soil structure and the supply of nutrients to plants) contributes widely to a range of essential services for sustainable functioning of the **ecosystem**⁷. Soil studies also provide tools for the integration of biodiversity components (genetically, specific and ecological diversity) and for the understanding of causes and consequences of the spatial variability of biodiversity.

Research on soils in West Africa is closely associated with the French ORSTOM office, today called IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Studies about the formation and evolution of West African soils have basically been conducted in three different domains:

1. Agropedological investigations mainly through studies about soil dynamics with the aim of adapting techniques of land use to the climatic conditions, **climate change**⁷ respectively [29].
2. Study of matter balance and dynamic (hydric and geochemical) balance at the watershed or measurements of erosion in different soil types for example in Roose [28].
3. Advanced experimentation of defined processes in soil as impoverishment of fine particle in the upper horizon in Côte d'Ivoire [31], iron pan cycle [25].

In addition to the research domains specified above, FAO studies classifying main soil units and the evaluation of their agronomic values are of prime importance for the understanding of soil properties.

Fig. 2.19: Travaux de terrain dans le Parc National de la Pendjari. | Fieldwork in Pandjari National Park. CAN



PROCESSUS DE LATÉRITISATION

La **latéritisation**⁷ menace l'utilisation effective des sols pour l'agriculture et retarde, voire même inhibe la croissance et/ou la régénération des plantes ligneuses. Ainsi, le développement des processus de latéritisation et la formation de croûtes latéritiques, accéléré principalement par la pratique de culture itinérante, pourrait entraîner la perte de **phytodiversité**⁷ et de zones cultivables. Comme une relique d'anciennes surfaces d'érosion et de processus de pédogenèse, les formations latéritiques se développent dans pratiquement toutes les unités géomorphologiques (chaînes de montagnes, plateaux et vallées) au Burkina Faso, au Bénin et en Côte d'Ivoire. Les formations latéritiques sont les produits de la désagrégation de roches (goéthite, hématite et hydroxyde d'aluminium) s'étant formées sous des conditions tropicales. Elles sont riches en fer et en aluminium et sont soit dures, soit sujettes, au durcissement quand elles sont exposées à des conditions climatiques alternantes d'humectation et de séchage. Cette définition met l'accent sur deux processus différents pour caractériser les latéritisations :

- L'enrichissement en fer et en aluminium ou
- La consolidation ou le durcissement des particules des sols.

through shifting cultivation may trigger loss of **phytodiversity**⁷ and loss of farmland. As a relict of old erosion surfaces and pedogenesis processes, laterite formations develop almost in all geomorphological units (mountain range, plateau and valleys) in Burkina Faso, Benin and Côte d'Ivoire. Lateritic formations are the weathering product - goethite, hematite, and aluminium hydroxides - formed under tropical conditions. They are rich in iron and aluminum, and are either hard or subject to hardening upon exposure to alternate wetting and drying climatic conditions. From this definition two different processes are determinant for the characterization of lateritisation:

- Iron and aluminium enrichment or
- Induration or hardening of soils particles.

The soil layer in which accumulation and induration/ non-induration occurs is identified as "duricrust". Different duricrust types can be found according to the chemical constituent of the weathering mineral and to the intensity of weathering processes. Laterite includes iron duricrust-called ferricretes, "*cuirasse*" or "*cuirasse ferrugineuses*" in the French soil science literature [21, 22] and are widespread in the West African savannas, aluminum

Les strates de sols où se produisent l'accumulation et la consolidation / non-consolidation sont connues sous le nom de « croûte ». Il existe différents types de croûtes selon le composant chimique du minéral d'altération et l'intensité des processus de désagrégation. Les latérites comprennent les croûtes riches en fer appelées ferrihydrites, « cuirasse » ou « cuirasse **ferrugineuse**⁷ » dans la littérature française concernant la science du sol [21,22] et elles sont très répandues dans le milieu savanicole de l'Afrique de l'Ouest, des cuirasses alumineuses appelées « bauxite », des pisolites, qui sont des grains sphériques très compactés et non-indurés riches en fer et en aluminium, présentes notamment sur les surfaces des sols des zones dégradées, des horizons d'argile tachetée, etc. La dynamique et la redistribution des éléments dans la latérite permettent d'identifier les différentes zones dans les profils latéritiques. Un profil latéritique typique se caractérise par la succession de trois horizons (Fig. 2.20).

Contraintes agronomiques et dégradation

La dégradation des terres est l'une des plus grandes menaces que doivent affronter les agriculteurs de l'Afrique de l'Ouest. L'érosion des sols entraîne la perte de **fertilité**⁷ et donc une diminution de la

duricrusts or "bauxite", pisolites which are non indurated and closely packed round pellets of iron or aluminium particularly present at the soil surfaces of degraded zones, clay mottled horizon etc. The dynamic and redistribution of elements in the laterite lead to the identification of different zones in the lateritic profiles. A typical lateritic profile is characterised by the succession of three horizons (Fig. 2.20).

AGRONOMIC CONSTRAINTS AND DEGRADATION

Land degradation is one of the major threats which West African farmers are facing. Soil erosion leads to loss of **fertility**⁷ and hence to a decrease in productivity for food and incomes. Different factors interact in the soil erosion processes: climate, properties of soil types, vegetation cover, and human activities through farming systems. Soil properties constrain the agronomic potential of farm land by accelerating the erosion processes. In **Sub-Saharan**⁷ Africa 82 % of the total area has to be considered having major soil constrains (world 76 %) [24]. Côte d'Ivoire has an especially high proportion of land with constrains (74 %) due mainly to aluminum toxicity of the soil and erosion risks. In Burkina Faso 63 % of the soil resources are

productivité en matière d'aliments et de revenus. Plusieurs facteurs interagissent dans les processus d'érosion des sols : le climat, les propriétés des types de sols, la couverture végétale et les activités de l'homme à travers les systèmes d'exploitation agricole. Les propriétés du sol limitent le potentiel agronomique des zones agricoles en accélérant les processus d'érosion. On considère que 82% des sols de la zone correspondante à l'Afrique **subsaharienne**⁷ possèdent de fortes limitations (Le monde 76 %) [24]. La Côte d'Ivoire possède une proportion spécialement élevée de terres limitées (74 %) en raison notamment de l'intoxication des sols par l'aluminium et les risques d'érosion. Au Burkina Faso, 63 % des ressources des sols sont affectées par des limitations majeures pour l'agriculture, en raison de la platitude des sols et de la structure sableuse de la surface, entraînant une faible capacité de rétention en eau et un taux élevé d'infiltration. 59 % des sols au Bénin présentent des contraintes agronomiques en raison de la platitude du sol et des systèmes d'exploitation agricole insoutenables à terme.

L'érosion par l'eau est la forme d'érosion la plus déterminante à travers l'érosion ravinante, notamment sur la couverture végétale

affected by major soil constraints for agriculture, due to the shallowness of the soils and the sandy structure of the topsoil leading to a low water holding capacity and high infiltration rate. 59% of the soils in Benin show agronomic constraints by shallowness of soil and unsustainable farming systems.

Water erosion is the most determinant erosion form through rill and gully erosion, particularly in the sparse vegetation cover of the Sahel and Nord Sudan landscapes. Additionally, unsustainable land use, i.e. overgrazing, deforestation and fire can lead to severe land degradation. 18% of the country area of Côte d'Ivoire and nearly half of Burkina Faso (44 %) have to be considered moderately to very severely degraded, Benin shows 29% land degradation.

MAJOR SOIL TYPES IN WEST AFRICA

Soil types in West Africa are identified and categorised according to FAO soil guidelines based on the diagnostic of soil horizons (thickness, colour etc), properties (texture and structure) and materials (iron presence, organic matter content, particle size etc). About 30 different soil groups can be found in



Fig. 2.20: Schéma d'un profil latéritique adapté aux sols latéritiques de l'Afrique de l'Ouest (adapté de [23]). Les différentes couches de profils latéritiques, telles qu'illustrées plus haut, ne sont pas toujours présentes dans les profils de sols en raison du dynamisme des processus d'érosion (dénudation et lessivage⁷) mais aussi de l'épaisseur des couches. | Schematic representation of a lateritic profile adapted to the lateritic soils of West Africa (adapted from [23]). The different layers (or their thickness) of the lateritic profiles as represented above are not always present in the soil profiles because of the dynamism of erosion processes (denudation and leaching⁷).

éparse du Sahel et des paysages du Nord-Soudan. Par ailleurs, l'utilisation insoutenable à terme des terres, c'est-à-dire le surpâturage, la déforestation et les feux, peuvent entraîner une sévère dégradation des sols. 18 % de la zone correspondant à la Côte d'Ivoire et pratiquement la moitié du Burkina Faso (44 %) sont considérés comme des terres gravement dégradées. Le Bénin présente une dégradation des sols de l'ordre de 29%.

PRINCIPAUX TYPES DE SOLS EN AFRIQUE DE L'OUEST

Les types de sols en Afrique de l'Ouest se distinguent et se catégorisent conformément aux lignes directrices de la FAO fondées sur le diagnostic des horizons du sol (épaisseur, couleur, etc.), des propriétés (texture et structure) et des matériaux (présence de fer, contenu de matière organique, taille des particules, etc.). On distingue environ 30 types de sols différents en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso et au Bénin (Carte 2.9). D'après la classification des sols de la FAO-UNESCO [25,26], les groupes prédominants sont les Acrisols et les Luvisols ou sols Luvisoliques (voir la case pour une explication des groupes de sols)

Les Acrisols se trouvent essentiellement dans les zones tropicales

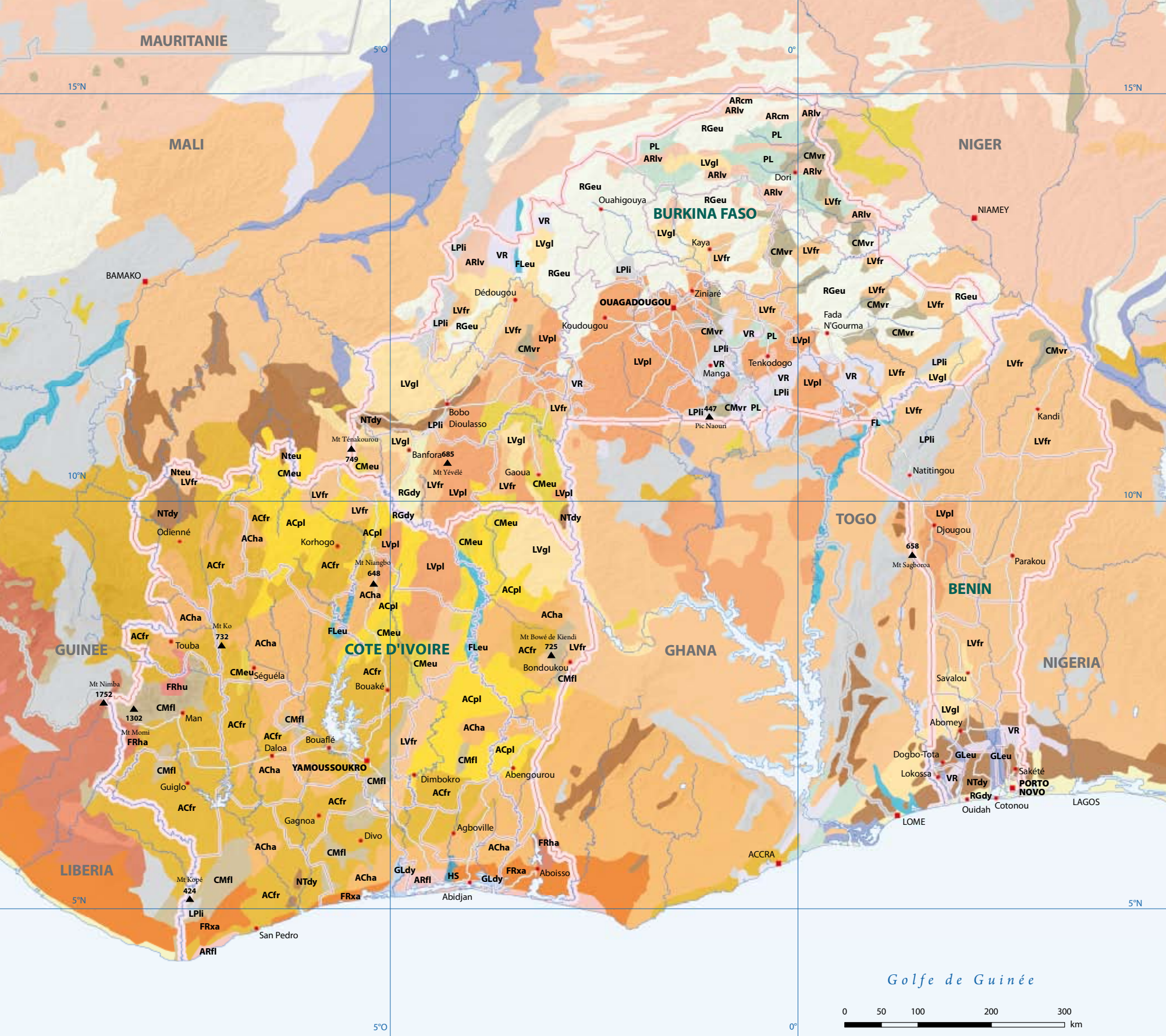
Côte d'Ivoire, Burkina Faso, and Benin (Map 2.9). Following the FAO-UNESCO soil classification [25, 26], the dominant groups are Acrisols and Luvisols (for explanation of soil groups see box). Acrisols occur predominantly in the sub-humid zone of West Africa and particularly of Côte d'Ivoire and, together with the Luvisols, cover 80 % of the country. Both are characterised by higher clay content in the subsoil than in the topsoil due to the pedogenetic processes (particularly clay migration) leading to an argic subsoil horizon. The presence of an iron enriched B horizon which gives them the characteristic red colours is common to these two soil groups. As acid soils with low pH values, these soils often suffer from the aluminum toxicity and strong phosphorus fixation. Acrisols and Luvisols are easily eroded because of the physical structure of the topsoil (A Horizon). Some Ferralsols (8 % of Côte d'Ivoire) characterised by the dominance of **kaolinite**² clays and a residual accumulation of iron and aluminum oxides and hydroxides can be found in the humid coastal regions of Côte d'Ivoire.

Going north in Burkina Faso Luvisols (43 % of country area of Burkina Faso) are gradually replaced by Regosols (23 % of Burkina Faso) which are thin and contain low organic matter. They

sub-humides de l'Afrique de l'Ouest et plus particulièrement en Côte d'Ivoire et recouvrent, avec les sols luvisoliques, 80 % du pays. Les deux se caractérisent par une plus forte teneur en argile dans le sous-sol que sur la surface en raison de processus pédogénétiques (notamment la migration d'argile) donnant lieu à un horizon du sous-sol argileux. Un autre élément commun à ces deux groupes de sols est la présence d'un horizon B riche en fer, qui leur confère leur couleur rouge caractéristique. En tant que sols acides à faible pH, ces sols souffrent souvent d'une intoxication par l'aluminium

Types de sol (FAO) Soil-Types (FAO)

AC	Acrisols	HS	Histosols
ACfr	Ferric Acrisols	LP	Leptosols
ACha	Haplic Acrisols	LPLi	Lithic Leptosols
ACpl	Plinthic Acrisols		
AR	Arenosols	LV	Luvisols
ARcm	Cambic Arenosols	LVfr	Plinthic Luvisols
ARfi	Ferralic Arenosols	LVgl	Ferric Luvisols
ARiv	Luvic Arenosols	LVpl	Gleyic Luvisols
CM	Cambisols	NT	Nitisols
CMeu	Eutric Cambisols	NTdy	Dystric Nitisols
CMfi	Ferralic Cambisols	NTeu	Eutric Nitisols
CMgl	Gleyic Cambisols		
CMvr	Vertic Cambisols	PL	Planosols
FL	Fluvisols	RG	Regosols
FLeu	Eutric Fluvisols	RGdy	Dystric Regosols
		RGeu	Eutric Regosols
FR	Ferralsols	VR	Vertisols
FRhu	Humic Ferralsols		
FRha	Haplic Ferralsols		
FRxa	Xanthic Ferralsols		
GL	Gleysols		
GLdy	Dystric Gleysols		
GLEu	Eutric Gleysols		



Carte 2.9: Les sols de l'Afrique de l'Ouest selon la FAO [25, 26].

Map 2.9: Soils of West Africa, based on FAO [25, 26].

et d'une forte fixation du phosphore. Les Acrisols et les Luvisols s'érodent facilement en raison de la structure physique de la surface (Horizon A). On trouve quelques Ferralsols (8 % de la Côte d'Ivoire) définis par la prédominance d'argile **kaolinite**⁷ et d'une accumulation résiduelle d'oxydes et de d'hydroxydes de fer et d'aluminium dans les régions côtières humides de la Côte d'Ivoire. En allant vers le Nord du Burkina Faso, les sols luvisoliques (43% du pays) sont graduellement remplacés par les Régosols (23% du pays) qui sont minces et pauvres en matière organique, et se trouvent essentiellement sur le Plateau de Yatenga. Dans la zone sahélienne (Oudalan), les Régosols s'associent au Planosols. Au Bénin, les sols sont composés de Luvisols (80 % du Bénin) et de Nitisols plus fertiles, tandis que l'on trouve des Gleysols eutriques (eutric= fertilité élevée/modérée) sur le bassin côtier humide mais aussi dans de nombreuses vallées continentales à travers les différents pays. Les Leptosols, qui se caractérisent par la présence de pentes rocheuses instables et d'affleurements de substrat rocheux, sont présents dans les montagnes d'Atakora.

can be found predominantly on the Yatenga Plateau. In the Sahelian Zone (Oudalan) Regosols are found alongside Planosols. In Benin, soils consist of Luvisols (80 % of Benin) and the more fertile Nitisols and the eutric Gleysols (eutric= high/moderate fertility) can be found in the humid coastal basin as well as in many inland valleys across the different countries. Leptosols which are characterized by the occurrence of the unstable rocky slopes and outcrops of bedrock are present in the Atakora Mountains

Breve description des principaux groupes de sols

Acrisols (sols ferrallitiques fortement dessaturés) : ce sont sols illuviaux et acides fortement altérés avec une faible saturation de base, une accumulation de fer dans les couches inférieures, et des argiles à faible activité. Ils sont adaptés aux systèmes de répartition des cultures et requièrent une **fertilisation**⁷ complète pour l'agriculture sédentaire. L'**agroforesterie**⁷ est recommandée pour la protection des sols.

Luvisols (sols **ferrugineux**⁷ lessivés) : ce sont des sols avec une accumulation d'argiles (ou de sesquioxydes) et de matière organique dans les couches inférieures, des argiles de haute activité et un haut pourcentage de saturation en bases. Ces sols ont une structure physique et une déclivité favorable bien drainés, poreux, aérés et majoritairement fertiles (Fig. 2.21).

Ferralsols (sols ferrallitiques) : ils se caractérisent par une forte altération avec une prédominance de minéraux d'argile **kaolinitique**⁷, mais des argiles à faible activité, une accumulation de fer, une forte teneur en sesquioxydes. Ces sont bien profonds, ont une bonne perméabilité, une microstructure stable, une moindre susceptibilité à l'érosion. Leur fertilité doit s'entretenir au moyen du fumage, du paillage, de périodes de jachères adéquates et l'agroforesterie.

Régosols (sols minéraux bruts et sols peu évolués d'apport **éolien**⁷) : Sols au développement très limité, aux matériaux non sédimentés poussés par le vent. Ils ont une faible capacité de rétention en eau et souvent utilisés pour le pâturage extensif.

Planosols (sols ferrugineux tropicaux lessivés pro parte) : Sols avec une surface lessivée, temporairement saturée d'eau, sur un sous-sol légèrement perméable. Ils ont une faible teneur en argile dans la surface par rapport au sub-horizon, un faible niveau de fertilité et une faible intensité d'utilisation de la terre. On les trouve sur des terrains plats ou légèrement ondulés avec une couverture végétale **herbacée**⁷ naturelle parsemée d'arbustes ou d'arbres et une végétation de graminées ou de forêt ouvertes, essentiellement utilisées pour le pâturage extensif.

Nitisols (sols fersialitiques, Ferrisols) : Sols profonds, bien drainés avec accumulation d'argile rouge foncée, marron ou de sols jaunes argileux présentant une structure prononcée brillante en forme de noix. Ces sols sont très productifs dans les régions tropicales humides, moins altérés que les ferralsols, résistants à l'érosion. ils sont utilisés pour les plantations forestières tout comme pour les cultures vivrières.

Gleysols (Sols **hydromorphes**⁷ à gley ou à accumulation de fer en carapace ou cuirasse) : Ils ont une humidité permanente ou temporaire près de la surface et sont aptes pour la répartition des cultures arables, l'élevage de bétail laitier et l'horticulture sous réserve d'un drainage adéquat (Fig. 2.22).

Leptosols : ce sont des sols de couverture graveleux et/ou pierreux très plats (moins de 30cm de profondeur) sensibles à l'érosion. Ils représentent une ressource potentielle pour le pâturage pendant la saison humide ou terre de forêt et ne sont pas aptes à l'agriculture.

Short description of major soil groups

Acrisols (Sols ferrallitiques fortement dessaturés): Strongly weathered, illuvial and acid soils with low base saturation, subsurface iron accumulation, low-activity clays; Adapted to cropping systems with full **fertilization**⁷ necessary for sedentary farming, **agroforestry**⁷ recommended for soil protection.

Luvisols (Sols **ferrugineux**⁷ lessivés): Soils with subsurface accumulation of clay or of sesquioxides and organic matter, high activity clays and high base saturation; Flat and gently sloping favourable soil physical structure, well drained, porous and well aerated mostly fertile soils (Fig. 2.21).

Ferralsols (Sols ferrallitiques): Deep weathering with dominance of **kaolinitic**⁷ clay minerals but low activity clays, accumulation of iron, high content of sesquioxides; great soil depth, good permeability and stable microstructure, less susceptible to erosion; soil fertility may be maintained by manuring, mulching, adequate fallow periods, or agroforestry.

Regosols (Sols minéraux bruts et sols peu évolués d'apport éolien): Soils with very limited soil development, unconsolidated windblown materials; low moisture holding capacity, often used for extensive grazing.

Planosols (Sols ferrugineux tropicaux lessivés pro parte): Soils with a bleached, temporarily water-saturated topsoil on a slowly permeable subsoil; low clay content in the topsoil, more clay in the sub horizon, low fertility level and land use of low intensity; present in flat to gently undulating terrain with natural sparse grass vegetation, scattered with shrubs or trees climax vegetation of grasses or open forest, mostly used for extensive grazing.

Nitisols (Sols fersialitiques, Ferrisols): Deep soils, well drained, accumulation of clay dark red, brown or yellow clayey soils having a pronounced shiny, nut-shaped structure; very productive soil of the humid tropics, less weathered than ferralsols, resistant to erosion; used for plantation crops and food crops.

Gleysols (Sols **hydromorphes**⁷ à gley ou à accumulation de fer en carapace ou cuirasse): Soils with permanent or temporary wetness near the surface; suitable for arable cropping, dairy farming and horticulture if drained appropriately (Fig. 2.22).

Leptosols: Very shallow soils (less than 30 cm depth) cover hard gravelly and/or stony rocks; sensitive to erosion, resource potential for wet-season grazing or forest land; unfavourable for agriculture.

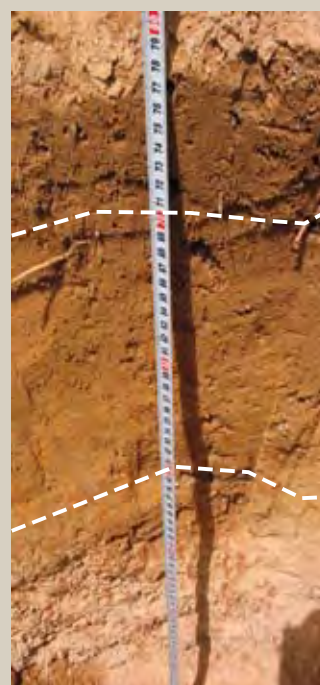


Fig. 2.21: Ferric luvisol, sol ferrugineux tropical lessivé et induré. CAN



Fig. 2.22: Plinthic gleysol, sol hydromorphe à pseudo gley. CAN

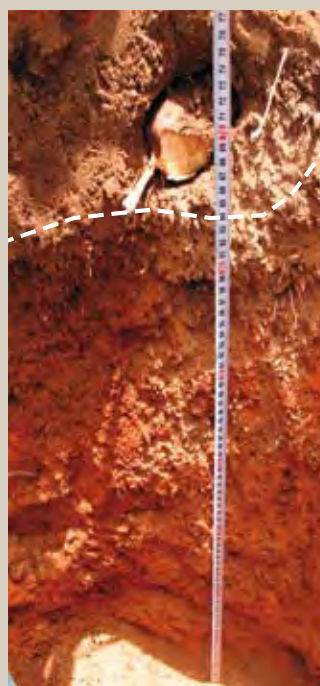


Fig. 2.23: Albi-petric plinthosol, sol ferrugineux tropical latéritique. CAN



Fig. 2.24: Gleyic lixisol, sol ferrugineux peu lessivé à pseudo gley faiblement évolué. CAN

2.5

Le feu comme agent pour la structure végétale & la diversité

Noellie YAO
Tobias LANDMANN
Michael SCHMIDT
Souleymane KONATÉ
Stefan DECH
K. Eduard LINSEMAIR

Les feux de brousse sont fréquents en Afrique de l'Ouest. On estime que pas moins de 80 % du milieu savanicole africain est parcouru par le feu [34]. Le feu a longtemps été considéré comme un élément essentiel et permanent des **écosystèmes**⁹ savanicoles [35, 36], en raison notamment de ses effets sur la structure de la végétation et de l'équilibre des biomasses **herbacée**⁹ et arborescente des savanes.

Caractéristiques des savanes ouest-africaines

En l'Afrique de l'Ouest, les savanes se caractérisent par des strates boisées avec un tapis herbacé ou par des prairies primaires parsemées d'arbres [37]. Elles sont présentes essentiellement dans les milieux tropicaux où le climat est saisonnièrement sec. Les mosaïques de forêts et les galeries forestières sont également très courantes en Afrique de l'Ouest et sont moins affectées par le feu. La

Fire as an agent for vegetation structure & diversity

Bushfires are very frequent in West African savannas. It is estimated that as many as 80 % of the total savannas in Africa are affected by fire [34]. Fire has long been considered a permanent and essential element of savannas **ecosystems**⁹ [35, 36], especially regarding its effect on vegetation structure and mitigating the balance between grass and trees biomass in savannas.

Characteristics of West African Savannas

West African savannas are characterized by woodlands with an **herbaceous**⁹ ground layer, or primary grasslands with very sparse trees [37]. Savannas occur mainly in tropical areas where the climate is seasonally dry. Mosaic forests and gallery forest also occur frequently in West Africa; however these are less affected by fire. The many different types of savannas in West Africa reflect broad differences in rainfall and soil patterns, and

grande variété des savanes en Afrique de l'Ouest reflète les fortes différences entre les modèles de précipitation et les sols, et essentiellement le régime saisonnier des pluies avec une saison sèche très marquée ainsi que le mélange de biomasses herbacées et ligneuse de ces savanes les rendent vulnérables aux incendies fréquents [37, 38].

Caractérisation des feux de brousse

Un feu de brousse se définit par la combinaison de trois éléments, c'est-à-dire [39] :

1. La biomasse de combustible, par exemple le bois ou les herbes
2. Un oxydant, par exemple l'oxygène
3. De la chaleur, par exemple une source d'inflammation.

Les différents types de feux de brousse

Les feux de sol brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières et, en Afrique de l'Ouest, le fumier animal qui constitue également une grande partie de la biomasse combustible. Les feux de surface brûlent les strates basses de végétation, c'est-à-dire, la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les **ligneux**⁹ bas. Les feux de cimes brûlent la partie supérieure des

essentially the seasonal rainfall regime with a marked dry season as well as the mixture of herbaceous and woody biomass of these savanna systems makes them prone to frequent fires [37, 38].

Characterization of bushfires

A bushfire is defined by the combination of three features, namely [39]:

1. Fuel biomass, for example wood or grass
2. An oxidant, for example oxygen
3. Heat, for example from an ignition source.

The different types of bushfires

Soil fires burn organic matter in the litter, humus or peat bogs and in West Africa animal dung is also a large part of the biomass fuel mass. Surface fires burn the lower layers of vegetation, i.e. the upper part of the litter, the grass layer and lower shrubs. Crown fires burn the upper parts of trees (high woody plants) and form a crown fire. They are more intense and harder to control especially if further fuelled by strong winds. These fires are rather rare in comparison to bushfires. In West Africa,

arbres (les ligneux hauts) et forment une couronne de feu. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler surtout quand ils sont alimentés par des vents forts. Ces feux sont plus rares que les feux de brousse. En Afrique de l'Ouest, les feux sont généralement des feux de surface [40].

En fonction de la direction de la combustion [41], on parle de **feux ascendants** qui brûlent d'autant plus rapidement que la pente est prononcée et de **feux descendants** qui se propagent moins rapidement, bien qu'il existe un grand risque de sauts au versant suivant.

En fonction des strates végétales exposées au feu, on trouve :

1. **Les feux de litière**, souvent à l'origine d'un grand nombre de départs de feux, sont d'autant plus difficiles à détecter que leur combustion est lente.
2. **Les feux de prairie** qui ont un taux d'inflammation élevé. Sous l'effet du vent, ils peuvent se propager sur de grandes surfaces dans les prairies ouvertes.
3. **Les feux de broussaille** dont l'inflammabilité est moyenne, ces feux se propagent rapidement et constituent une échelle par laquelle les feux grimpent dans les strates supérieures.
4. **Le feu de cimes** : la strate des arbres est rarement à l'origine des feux de forêt mais constitue un élément important dans le

fires are in general surface fires [40].

According to the direction of combustion [41], there are **rising fires**, which burn faster on a steeper slope, and **descending fires**, which spread much slower, but there is a great risk of them jumping from one slope to another. Pertaining to vegetation layers that are exposed to the fire there are:

1. **Litter fire** that easily ignites, and are often the origin of many fires that are hard to detect, as they burn very slowly.
2. **Grass fires** typically with high ignition rates; the wind can spread the fire in open grasslands easier and many grassland fires are very large in size.
3. **Shrubland fires** that have a medium ignitability; these fires rapidly pass fire to the upper layers.
4. **Crown fires**: The tree layer in a wood fire is rarely the origin of a fire, but it facilitates the spread of flames once the whole tree is on fire. These are called crown fires but they rarely occur in African savannas.

Fire behaviour

The parameters generally used in the description of a bush-fire are fire intensity, the spreading speed, the size of the flame

développement des incendies une fois que l'arbre est enflammé. Il s'agit de feux de cimes, qui ne se produisent que très rarement dans les savanes africaines.

Comportement du feu

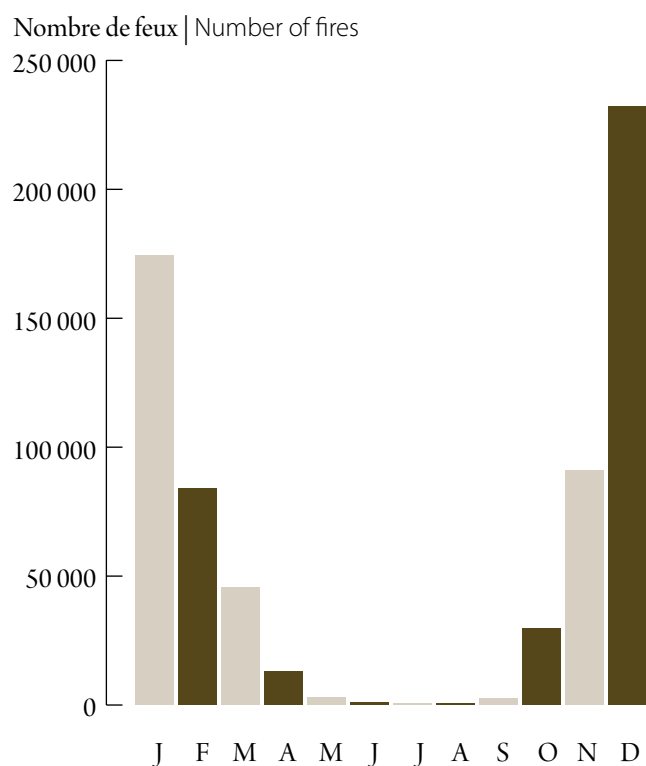
Les paramètres généralement utilisés pour décrire un feu de brousse sont l'intensité, la vitesse de propagation, la taille du front de flammes et la typologie du feu. Ces paramètres sont influencés par des facteurs environnementaux comme le climat, la topographie, la quantité de biomasse combustible disponible, leur distribution dans le temps et le type de végétation brûlée. L'intensité d'un feu de brousse dépend de la quantité, la distribution spatiale, de l'humidité et l'inflammabilité du combustible, des conditions météorologiques et de la topographie. En présence de vastes quantités de combustibles secs spatialement bien distribués et de conditions météorologiques favorables, les feux sont généralement de grande intensité. La taille du front de flammes d'un incendie dépendra des conditions atmosphériques afférentes au milieu en question, de l'existence d'une barrière physique et de la quantité, de la distribution spatiale et du niveau d'humidité des combustibles [39, 41].

front and the type of fire, as described above. These parameters are influenced by environmental factors, such as climate, topography, amount of biomass fuel available, their distribution in space and the kind of vegetation burned. The intensity of a bushfire depends on the quantity, the spatial distribution, humidity, and ignitability of the fuels, weather conditions and topography. In the presence of a large amount of dry fuels well distributed in space and favourable climatic conditions, fires are generally intense. The size of the front of a fire depends on atmospheric conditions prevailing in an environment, the existence of a physical barrier, and on the quantity, spatial distribution and moisture content of the fuels [39, 41].

The fire regimes

The setting alight of fires occurs mainly during the dry season. Generally, the fire season lasts from the beginning of November to the end of April in West Africa (see Fig. 2.25). Early fires, which are less destructive, are lit or ignited at the beginning of the dry season (from November to January), when the grass layer is relatively moist, hence the fuel is harder to ignite, which weakens the intensity of the fire. The majority of the fires lit in this period

Fig. 2.25: Saison des feux le long de l'année sur des observations faites de janvier 2000 à décembre 2006. | Fire season over the year, as observed from January 2000 to December 2006.



have a preventive purpose. Late season fires, which are much more destructive and severe, are lit in the middle and at the end of the dry season (from February to April), when the grass has become very dry and also dry leaf litter is readily available, which makes an easily ignitable fuel load mixture.

We processed satellite data sets to map active fires over an area in West Africa, between -15° W and 15° E and between 15° N and 0° . With this thermal spectral data on near to daily overpassing satellites systems, fire patterns can be tracked over the whole of West Africa. The result shows that the number of active fires was 669 749 during the dry season and 7 663 during the rainy season (see Fig. 2.25).

Origins of bushfires

While some bushfires are of natural origin, being triggered by chance by lightning, the majority of fires are man-made. Humans light fires in order to clear and prepare fields, renew pastures, hunt small game, clear the surroundings of villages, hamlets, tracks and paths, for harvesting honey, and for the production of charcoal [35, 40, 42].

Les régimes des feux

La mise à feu des incendies se produit surtout pendant la saison sèche. Généralement, la saison des incendies en Afrique de l'Ouest va de début novembre à fin avril (Fig. 2.25). Les feux précoces, qui sont moins destructifs, sont allumés ou mis à feu au début de la saison sèche (novembre à janvier), quand la strate herbacée est relativement humide et la mise à feu du combustible est donc plus difficile, ce qui amoindrit l'intensité du feu. La plupart des incendies mis à feu à cette période ont un but préventif. Les feux de fin de saison, plus destructifs et rigoureux, interviennent vers la moitié ou la fin de la saison sèche (de février à avril), quand la strate herbacée s'est bien desséchée, tout comme la litière de feuilles, constituant ainsi un mélange de combustible hautement inflammable.

Nous avons traité les ensembles de données satellitaires pour dresser la carte des incendies sur la zone de l'Afrique de l'Ouest comprise entre -15° Ouest et 15° Est et entre 15° Nord et 0° . Avec ces données spectrales thermiques issues d'un passage quasiment journalier des systèmes satellitaires, il est possible de suivre la trajectoire des modèles d'incendies dans toute l'Afrique de l'Ouest. Les résultats montrent qu'il y a eu 669 749 incendies actifs pendant la saison sèche et 7 663 pendant la saison des pluies (Fig. 2.25).

The effects of bushfires

Fire is a working tool for farmers, for livestock breeders and for hunters alike. Nevertheless, the repeated use of this tool has serious consequences on the environment. Late and more frequent fires, to the fire regimes have changed in the past, may destroy the regeneration potential of vegetation. They cause a gradual decrease of the diversity of tree species, and the regeneration potential of tree species that are most sensitive to fire is affected negatively. These damages are greater, the lesser the diameter of a tree. This mechanism plays an important part in the retreat of forests, which increasingly give way to more open woodlands. Open woodlands allow even more fires, since herbaceous biomass can replace woody vegetation and open areas get more funnel wind needed for fire. Repeated fire can reduce the organic matter in the soil by slowing the soils enrichment with humus. After the fire has passed, the soil is exposed more strongly to the direct action of the sun, the wind, and the rain. The consequence of this often is soil erosion. If this is practised repeatedly and on a large scale, CO_2 is increasingly emitted into the atmosphere, which contributes to the production of greenhouse gases that are responsible for **climate**

Origine des feux de brousse

Alors que quelques feux de brousse ont une source naturelle, étant déclenchés de manière accidentelle par une source de chaleur ou d'inflammation, la plupart des incendies sont provoqués par l'homme. Les êtres humains pratiquent la mise à feu pour : défricher et préparer les champs, renouveler le pâturage, chasser les petits gibiers, nettoyer les alentours des villages, des hameaux, des sentiers et des chemins, pour la récolte de miel et pour la production de charbon de bois [35, 40, 42].

Les effets des feux de brousse

Le feu est un outil de travail pour les agriculteurs, pour les éleveurs de bétail et pour les chasseurs. Néanmoins, l'utilisation réitérée de cet outil comporte de graves conséquences pour l'environnement. Les incendies tardifs et fréquents, qui sont le résultat du changement du régime des feux au cours des années, détruisent le potentiel de régénération végétale. Ils entraînent la diminution progressive de la diversité des espèces et un impact négatif sur le potentiel de régénération des espèces d'arbres particulièrement sensibles au feu. Plus le diamètre d'un arbre est petit, plus les dégâts sont importants. Ce procédé joue un rôle important dans la régression des

changes" [42].

Yet, although bushfires have their downsides if they are practiced in the way cited above, it is important to underline some of their positive effects. Bushfires in Africa are not only connected with agricultural production, they also have other meanings for certain West African peoples: They have a religious character expressing traditional beliefs and also cultural uses [43].

This is the case in the Baoulé country in central Côte d'Ivoire, where certain fires, especially early fires, have a cultural character. Smoke rising from these fires announces to the farmer that the time has come to prepare the fields for sowing [43]. Likewise, for Burkinabé farmers in Burkina Faso, fires have a purifying function. They accompany the transport of new crops into the villages. And it is only after these rites that the population can eat from the new crops. They are also used in rites dedicated to gods specifically for granting health, peace and for driving away misfortunes from the community. To this end, fires accompany the "going out" of masks and the purification of the souls. The latter, called fires of immunisation are lit to drive away

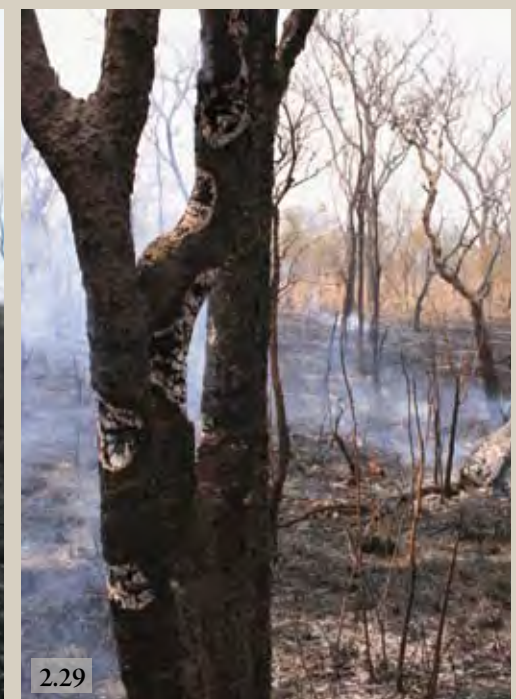


Fig. 2.26: Feu précoce de la saison sèche. | Early dry season fires. NYA

Fig. 2.27: Jeunes pousses suite à un feu précoce de la saison sèche. | Young shoots after the passing of an early dry season fire. NYA

Fig. 2.28: Feux tardifs en fin de saison. | Late season fires. NYA

Fig. 2.29: Dégâts causés par un feu tardif en fin de saison. | Damage caused by a late season fire on the trunk of a tree. NYA

forêts qui se transforment de plus en plus en zones boisées ouvertes. Par ailleurs, comme dans les zones ouvertes la végétation ligneuse est souvent remplacée par une biomasse herbacée et que les vents soufflent plus fort, les zones boisées ouvertes sont encore plus vulnérables aux incendies. Les incendies à répétition peuvent réduire la matière organique contenue dans le sol; ce qui freine son enrichissement par l'humus. Après le passage du feu, le sol est directement exposé à l'action du soleil, du vent et de la pluie. Cette exposition cause souvent une érosion du sol. Son renouvellement à grande échelle intensifie l'émission de CO₂ dans l'atmosphère et par conséquent la production des gaz à effet de serre responsables du **changement climatique**⁷ [42].

Pourtant, bien que les feux de brousse aient un certain nombre d'inconvénients, leur pratique présente certains effets positifs. En Afrique, ils ne sont pas uniquement liés à l'agriculture. Ils ont d'autres significations pour beaucoup de gens en Afrique de l'Ouest. Ils ont même un aspect religieux qui manifeste certaines croyances traditionnelles et des coutumes culturelles [43].

Par exemple, en pays Baoulé au centre de la Côte d'Ivoire, certains incendies (cas des feux précoces) ont un caractère culturel. La fumée qui se dégage annonce le temps de préparer les champs aux

semences aux agriculteurs [43].

De même, pour les agriculteurs burkinabés, les feux ont une fonction purificatrice. Ils accompagnent le transport des nouvelles cultures dans les villages. Ce n'est qu'après ces feux que les populations locales peuvent manger ces nouvelles cultures. Ils sont également utilisés dans des rituels dédiés aux dieux, particulièrement pour assurer la bonne santé, la paix et pour chasser la malchance de la communauté. À cette fin, les feux accompagnent le retrait des masques et la purification des âmes. Ces derniers, appelés feux de l'immunisation sont allumés pour chasser des maladies telles que la rougeole, la coqueluche et un grand nombre d'autres maladies infantiles [43].

Les feux font également partie des politiques de gestion des parcs pour maintenir l'équilibre dynamique entre les composants savaniques et pour supprimer les éléments ligneux des espaces verts dans les savanes. Jusqu'à présent, les feux précoces ont toujours été un moyen de gestion des parcs nationaux. Ils ont largement contribué à la formation des savanes actuelles et sont un élément important de leur dynamique [44]. Un autre facteur non moins important est l'impact positif direct sur le sol, grâce à la production de matière organique sur la surface à travers la minéralisation.

certain diseases such as the measles, the whooping-cough and many other childrens diseases [43].

Fires are also used as part of park management policies, i.e. to maintain the dynamic balance between savanna components and to suppress woody elements in parkland savannas. Until today, early season fires have been used as a mean of managing national parks. They have largely contributed to the formation of present savannas and are a major factor in their dynamics [44]. They have a direct positive impact on the soil through the surface production of organic matter through mineralization, which is worth considering.

The ashes that are made soluble by the action of CO₂, transform into soluble carbonate, which penetrates into the ground and part of which is taken up by rivers and as a result makes the alluvia of rivers and streams fertile. Another positive aspect of fire is the preservation of savannas for livestock consumption. The passing of early fires is essential for obtaining grass that is short, tender and rich in proteins, corresponding to the nutrition needs of the **fauna**⁷. Studies carried out in Kokondékoro, in the centre of Côte d'Ivoire, have shown that the absence of fires in a vegetation biome during several years leads to the

appearance of a woody vegetation, to the detriment of the herbaceous and grass layer. Gradually, the savannas are increasingly being displaced by woody cover. As an immediate consequence, certain animals that feed on the herbaceous grass layer will disappear or migrate to other environments, giving way to animals adapted to forest environments [45].

Furthermore, bushfires have a beneficial effect on some plant species such as *Dichrostachys cinerea* and *Acacia gerreadii* [46]. In Pendjari National Park in Benin, the setting alight of fires at the beginning of the dry season also allows for a better view of the fauna, which, by increasing the number of tourists, creates funds needed for park management and conservation.

In early dry season fires (from November to January), only 15 to 25 percent of the vegetation burns. These fires are less complete, that meaning usually only the bottom part of the grass (*Andropogon* and *Pennisetum*) burns or are charred and as a consequence the tall grass usually falls over (Fig. 2.26). Just a few weeks after the fire passed, we can see young shoots crop up (Fig 2.27). Conversely, late season fires (from February to April) are more complete, that is, nearly all of the grass is

Les cendres rendues solubles par l'action du CO_2 , se transforment en carbonate soluble qui pénètre dans le sol pour être ensuite en partie absorbé par les rivières et qui, par conséquent, fertilisera les alluvions des fleuves et des cours d'eau. La préservation des savanes pour l'alimentation du bétail est encore un autre aspect positif des incendies. Les premiers feux de saison sont essentiels pour obtenir une strate herbacée basse, tendre et riche en protéines, qui correspond aux besoins nutritionnels de la **faune**⁷. Les études menées à Kokondékro (au centre de la Côte d'Ivoire) ont révélé que l'absence de feux dans un biome végétal durant plusieurs années incite l'apparition d'une végétation ligneuse au détriment d'une strate herbacée ou de graminées. Progressivement, les savanes sont de plus en plus remplacées par une couverture ligneuse. La conséquence immédiate est la disparition ou la migration des animaux se nourrissant de cette strate herbacée vers d'autres sites, laissant la place aux animaux adaptés au milieu forestier [45].

En outre, les feux de brousse ont un effet bénéfique sur certaines espèces de plantes telles que *Dichrostachys cinerea* et *Acacia gerreadii* [46]. Dans le Parc National de Pendjari au Bénin, les feux de début de saison sèche permettent non seulement de mieux apercevoir la faune qui, en attirant un plus grand nombre de touristes, génère

consumed by the fire, leaving ash and charcoal on the fire affected area (Fig. 2.28). These fires destroy about 90 to 95 % of the total vegetation. This result is also confirmed by the research of Landmann [47] in South Africa in the Kruger National Park. The trunks of certain trees (Fig. 2.29) that are sensitive to fires are affected. As a consequence, these trees will disappear if these practices are repeated often.

Fire data from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite data at 1-Kilometer resolution allowed to make a fire mask superimposed on a MODIS surface reflectance image (real colour) in the below map. The fire mask shows a fire belt in sub-sahelian West Africa, precisely corresponding to the savanna area (Map 2.10).

Land cover data derived from the GLC (Global Land Cover) 2000 vegetation map was overlaid on the active fire data from the MODIS satellite. The analysis shows that bushfires are not frequent in all vegetations types. Figure 2.30 shows that fires are most abundant in so called '**Deciduous**' woodlands' and also in Deciduous shrublands with sparse trees. A total of 76 % of all

aussi des fonds nécessaires à la gestion et la conservation des parcs. Lors des feux précoces de la saison sèche (de novembre à janvier), seulement 15 à 25 % de la végétation brûle. Ces feux sont moins complets; ce qui veut dire que seule la partie inférieure de la strate herbacée (*Andropogon* et *Pennisetum*) brûle ou se carbonise et, par conséquent, les grandes graminées tombent par-dessus. (Fig. 2.26). On peut voir surgir des jeunes pousses au bout de quelques semaines (Fig. 2.27).

En revanche, les feux de fin de saison (de février à avril) sont plus complets, c'est-à-dire qu'ils brûlent quasiment toute de la strate herbacée en laissant des cendres et du charbon de bois sur toute la zone incendiée (Fig. 2.28). Ces feux détruisent entre 90 et 95 % de la végétation totale. Le travail de Landmann [47] en Afrique du Sud dans le parc national Kruger vient confirmer ces résultats. Les feux affectent les troncs (Fig. 2.29) de certaines espèces d'arbres sensibles qui disparaissent en conséquence, si ces incendies sont pratiqués trop fréquemment, ces arbres pourraient disparaître.

Les données MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sur le feu provenant d'un satellite avec une résolution de 1km ont permis de faire un masque de feu superposé à une réflexion d'image MODIS (couleur réelle) sur la carte ci-dessous. Le

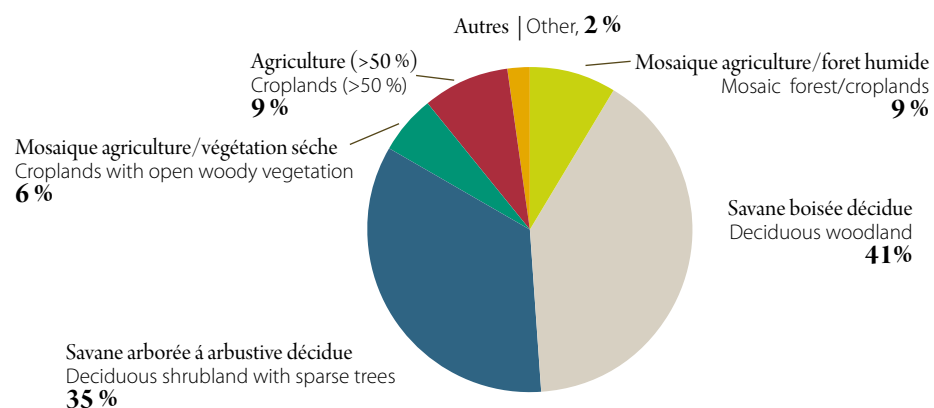


Fig. 2.30: Moyenne de la fréquence de feu de 2000 à 2006 pendant la saison sèche en fonction des classes de végétation (%). | Average fire occurrence from 2000 to 2006 during the dry season in different land cover classes (in %).

masque de feu révèle une ceinture de feu dans l'Afrique de l'Ouest sub-sahélienne qui correspond exactement à la zone des savanes (Carte 2.10).

Les données de couverture végétale dérivées de la carte de GLC (Global Land Cover) 2000 ont été superposées aux données feu actives obtenues du satellite MODIS. Cette analyse révèle que les feux de brousse ne sont pas fréquents dans tous les types de végétations. Comme on peut le constater dans la figure 2.30, les feux sont plus fréquents dans les zones appelées « zones boisées **décidues** » ainsi que dans les « zones arbustives décidues parsemés d'arbres ». 76 % de tous les feux détectés par le satellite MODIS se produisent dans ces deux classes de végétation.

Conclusion et perspectives

Le problème des feux de brousse et leurs effets sur la bio-complexité des savanes est très complexe. Il est difficile de généraliser un quelconque principe. Le brûlage excessif dû à la fréquence élevée des feux peut entraîner l'appauvrissement des sols. Mais, d'un autre côté, le feu est également un outil important pour les agriculteurs, les éleveurs, pour la gestion des espaces verts et pour entretenir la stabilité végétale des savanes. La gestion des feux ne

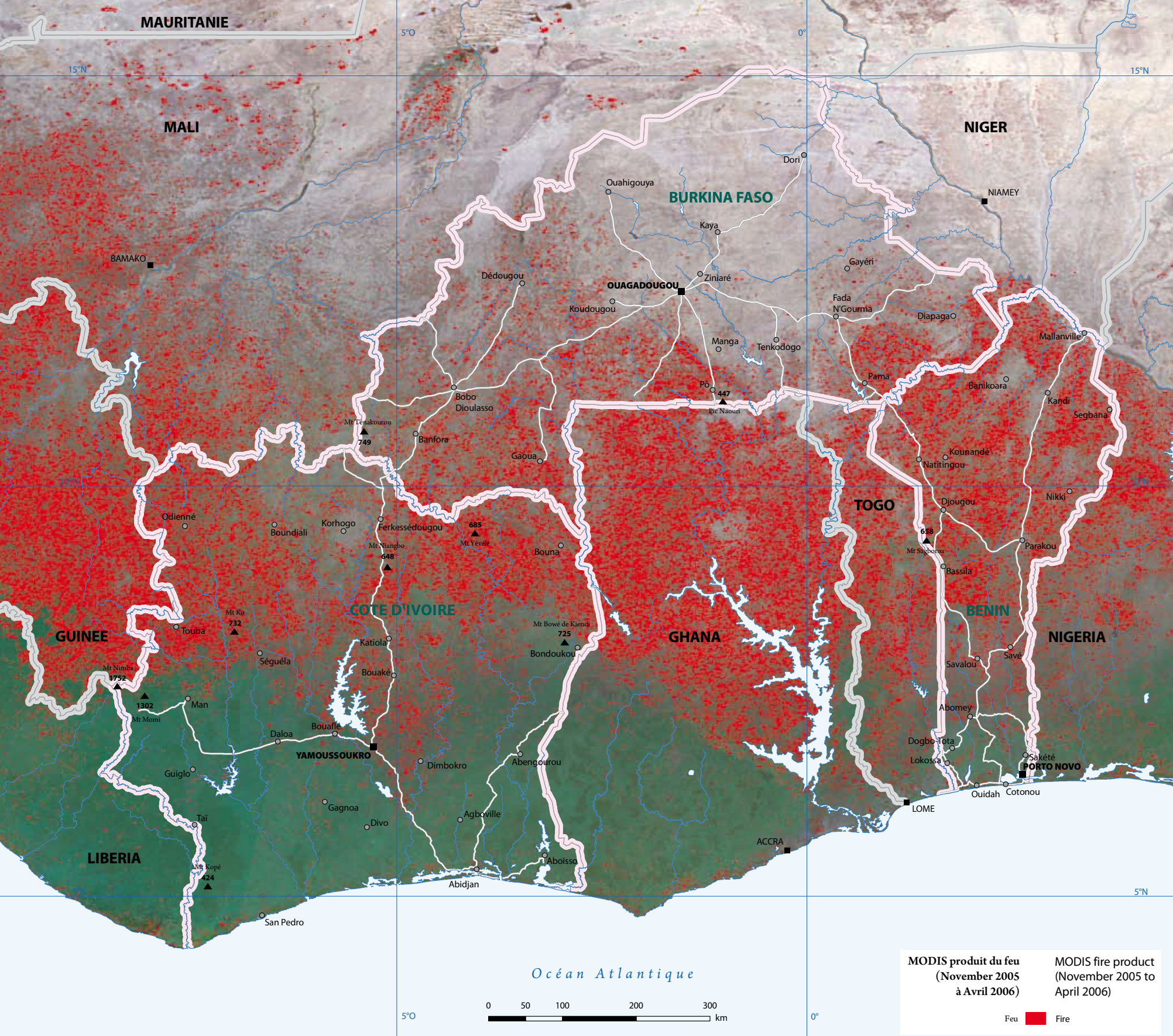
fires detected by the MODIS satellite occur in these two vegetation classes.

Conclusion and perspectives

The issue of bushfires and their effect on the bio-complexity of savannas is very complex. It is hard to generalize any principle. Excessive burning, that is increased burning frequencies, can result in poorer soils but on the other hand, fire is an important and useful tool for farmers, breeders, park management and for maintaining the vegetation stability of savannas. Fire management practices should not be applied in a rigid manner, but should be all-encompassing to cater for local needs and ecological 'circumstances' as well as climatic conditions. The impact of fire regimes on the vegetation structure can be assessed if data from a long period of time is available on the distribution of fires and the structure of the vegetation. Remote sensing is currently the only tool that permits a **systematic** collection of fire data on a large scale and for a long period of time. In order to better understand the impact of bushfires on vegetation structure, future satellite missions should comprise high spatial resolution data with

devrait pas s'appliquer de manière rigide, mais plutôt de manière universelle afin de répondre aux besoins locaux et aux « circonstances » écologiques comme aux conditions climatiques. Il est possible d'évaluer l'impact des régimes de feux sur la structure végétale pour autant que l'on dispose de données sur la distribution des feux et sur la structure végétale étalées sur une longue période. La télédétection est actuellement le seul outil permettant le recueil **systematique** de données sur le feu à grande échelle et sur une période assez prolongée. Pour mieux comprendre l'impact des feux de brousse sur la structure de la végétation, les futures missions satellitaires devraient inclure des données spatiales à haute résolution avec des longueurs d'onde sensibles à la gravité des feux afin de consentir des observations opérationnelles et reproductibles sur les effets des feux de brousse sur une plus longue durée. De la même manière, diminuer l'utilisation des feux de brousse pour le défrichage en faveur de l'exploitation agricole aurait probablement un effet positif sur la fertilité des sols à long terme. Les gouvernements devraient proposer des pratiques de défrichage et d'utilisation des terres comme alternatives à l'agriculture itinérante par brûlis.

wavelengths sensitive to the severity of fires so as to permit operational and reproducible observations of bushfire effects across longer periods of time. Likewise, reducing the use of bushfires as part of clearing practices for agricultural practices would possibly have a positive effect on soil fertility in the long run. Governments should propose land clearing and land utilization practices as an alternative to 'slash and burn'.



Carte 2.10: Des données d'occupation des terres dérivées de la carte de la végétation du GLC 2000 et superposées par le produit feu MODIS qui montre l'évènement du feu du novembre 2005 à l'avril 2006. **Map 2.10:** Land cover data from the GLC 2000 vegetation map overlain by the MODIS fire product showing the incidence of fire from November 2005 to April 2006

Influence des feux sur la biodiversité des savanes ouest africaines

Louis SAWADOGO

Les feux affectent la viabilité des graines et leur germination ainsi que la vitalité des plantes et leur architecture. Ainsi, le feu peut avoir des effets positifs et négatifs sur la régénération des espèces végétales. En effet, en zone aride, la majeure partie des semences se retrouvent à la surface du sol. C'est à ce niveau que les températures les plus élevées s'observent lors du passage des feux. Des températures de l'ordre de 800 °C à 200 °C ont été enregistrées de la surface du sol à 2 mètres au dessus du sol [48]. Les semences contenues dans la litière ainsi que les plantules peuvent être ainsi détruites par les feux freinant la régénération sexuée de certaines espèces. Skoglund [49] trouve que la relative pauvreté de la banque de semences du sol dans les savanes arides est fortement liée au risque de destruction de ces semences par les feux. Néanmoins, le feu peut déclencher la germination des graines de certaines espèces comme *Dicrostachys cinerea* et la floraison de d'autres tel que *Cochlospermum tinctorium* [50]. De même, la fumée est reconnue comme améliorant la germination des semences de certaines espèces telle que *Borreria scabra* [51]. Il en est de même de la chaleur produite lors de la combustion qui favoriserait la levée de la dormance des semences de certaines espèces telle que *Burkea africana* [52].

Le feu, en règle générale, ne tue pas les arbres et les arbustes. C'est pourquoi, une végétation soumise à des feux fréquents et intenses tendra à être buissonnante avec des individus multicaulés de taille relativement réduite [53, 52].

Par contre, l'influence nocive des feux récurrents est indéniable en ce qui concerne les jeunes brins de semis et les plantules de nombreuses espèces de la savane. En effet, la majeure partie des espèces de savane sont pyro-tolérantes eu égard à leur longue évolution avec le feu si bien que la proportion tuée par le feu est très faible.

La faible conductivité du sol fait que la température du feu en dessous de la surface du sol n'atteint pas 60 °C considérée comme température létale pour les tissus végétaux [54, 48]. Les racines des ligneux y sont ainsi préservées. Le feu favorise ainsi le développement des espèces dotées de capacités de régénération végétative par drageonnage et rejet de souche. En savane soudanienne, *Detarium microcarpum* constitue l'exemple classique des espèces à régénération par drageonnage et qui est maintenue à l'état buissonnant par les feux récurrents.

Des dispositifs de recherche pour l'étude à long terme de l'influence de facteurs anthropiques, notamment celui du feu précoce, sur la dynamique de la végétation ont été installés dans les forêts classées de Laba et de Tiogo dans la zone de transition entre le nord et le sud soudanien du Burkina Faso depuis 1992. Les résultats de ces études ont montré que la protection contre le feu

pendant une décennie a permis de doubler et de tripler le nombre d'espèces de juvéniles ligneuses respectivement à Laba et à Tiogo [52]. Néanmoins, l'enrichissement de la classe des juvéniles s'est fait par recrutement à partir des classes inférieures (semis et plantules) plutôt que par apport de nouvelles espèces. Les espèces les plus sensibles au feu précoce sont *Detarium microcarpum*, *Annona senegalensis* et *Anogeissus leiocarpus* avec une forte réduction de la population des juvéniles en 10 ans d'application de feu précoce. Par contre la population des juvéniles de *Entada africana* est plus importante dans la zone brûlée que dans celle protégée du feu. Le feu précoce appliqué annuellement sur le long terme a induit une mortalité plus élevée des rejets de souche de *Crossopteryx frebrifuga* et de *Combretum fragrans* à Laba [55].

Chez les **herbacées**[?], le feu induit des repousses au niveau de certaines graminées **vivaces**[?] telles que *Andropogon gayanus*, *A. ascinodis* et *Diheteropogon amplexans*. Cependant, la production de repousses dépend de la nature et du taux d'humidité du sol au moment du brûlis. Ces repousses, recherchées par les herbivores, sont nutritionnellement plus riches que les pailles.

Néanmoins, les feux fréquents provoquent la disparition de ces espèces vivaces par épuisement des réserves et leur remplacement par des annuelles [48, 55]. En effet, les semences de certaines espèces comme *Loudetia togoensis* sont munies de mécanismes qui leur permettent de s'enterrer et d'échapper ainsi à la grande chaleur lors du passage des feux. Ces espèces sont alors plus compétitives dans les savanes qui brûlent fréquemment.

En zone plus humide, dans la savane guinéenne du Ghana, la protection contre le feu et le pâturage pendant une trentaine d'années (1957 – 1989) d'une **parcelle**[?] de savane contiguë à une formation forestière a permis une bonne régénération d'espèces forestières et savanicoles importantes telles que *Milicia excelsa*, *Antiaris toxicaria*, *Ceiba pentandra*, *Albizia ferruginea*, *Lonchocarpus sericeus* et de l'espèce exotique *Azadirachta indica* [56].

La végétation constitue l'**habitat**[?] et l'alimentation de la **faune**[?]. Ainsi, l'influence du feu sur la végétation a un effet indirect sur celui de la faune. La diversité biologique de la grande faune est fonction du degré d'abondance et de la qualité nutritive des plantes. C'est ainsi que Klop et Prins [57] affirment que dans les savanes ouest africaines, les feux, en influant sur la quantité et la qualité de la strate herbacée, ont un rôle plus prépondérant que les facteurs édaphiques[?] et climatiques quant à la diversité des herbivores.

La quasi-totalité des pays de l'Afrique de l'Ouest ont opté pour la pratique des feux précoces comme outils d'aménagement des savanes soudanaises et guinéennes. En effet, les feux précoces, en maintenant un certain équilibre entre les strates ligneuses et herbacées, permettent une utilisation multiple des ressources des formations naturelles.

Influence of fire on West African savanna biodiversity

Fire affects the viability of seeds and their germination as well as the vitality of plants and their architecture. Thus, fire can have positive and negative effects on the regeneration of plant species. Indeed, in the arid zone, the majority of seeds are found at the soil surface. It is at this level that the highest temperatures can be observed when fires pass through. Temperatures of 800 °C to 200 °C were recorded on the soil surface and up to 2 meters above the soil [48]. The seeds contained in the ground as well as seedlings can be destroyed due to fires inhibiting the sexual regeneration of some species. Skoglund [49] finds that the relative poverty of the seed bank of the soil in the dry savannas is strongly linked to the risk of destruction of these seeds by fires. However, fire can trigger germination of seeds of some species like *Dicrostachys cinerea* and flowering of others like *Cochlospermum tinctorium* [50]. Smoke is also known in improving germination of seeds of some species like *Borreria scabra* [51]. It is similar with heat produced during combustion which contributes to break seed dormancy of some species like *Burkea africana* [52].

In general, fire does not kill trees and shrubs. Thus, vegetation exposed to frequent and intense fires will tend to be bushy with multistemmed individuals with relatively reduced size [53, 52].

However, the harmful influence of the recurrent fires is undeniable for the young stems of seedlings and saplings of numerous savanna species. Indeed, the larger part of savanna species are fire-tolerant given their long evolution with fire and to such an extent that the proportion killed by fire is very low.

The low conductivity of the soil ensures that temperatures below the soil surface do not reach 60 °C, which is considered the lethal temperature for plant tissues [54, 48]. The roots of trees are thus preserved there. Fire therefore favours the development of species with vegetative regeneration capacities through rootsuckering and coppicing. In the Sudanian savanna, *Detarium microcarpum* is the classic example of species regenerating by rootsuckers and staying bushy by recurrent fires.

Experimental sites for long-term studies of the influence of **anthropogenic** factors, notably early fire, on the dynamic of vegetation were established in the state forests of Laba and Tiogo in the Sudanian zone of Burkina Faso since 1992. The results of these studies showed that protection against fire over one decade enables doubling and tripling

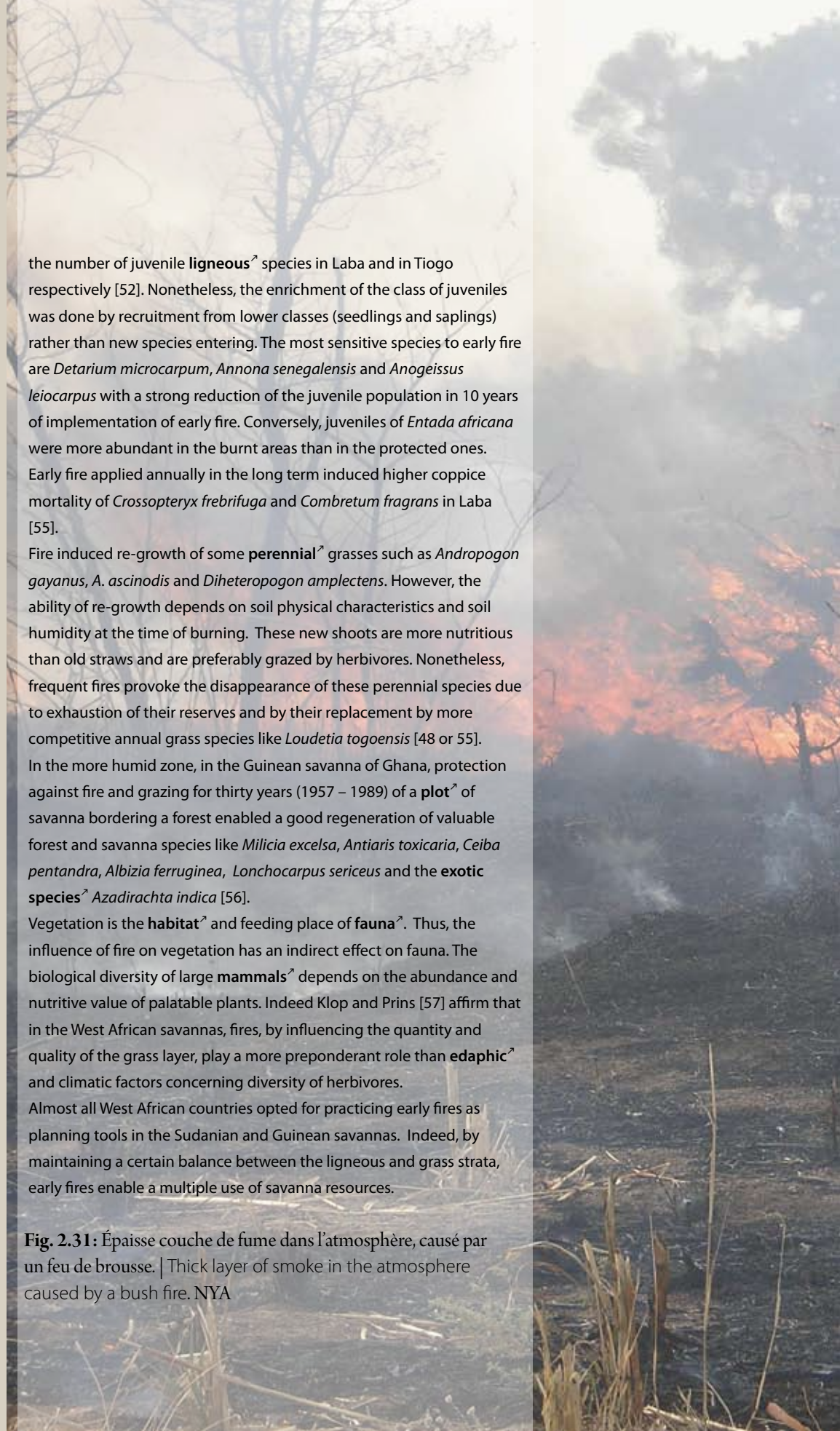
the number of juvenile **ligneous** species in Laba and in Tiogo respectively [52]. Nonetheless, the enrichment of the class of juveniles was done by recruitment from lower classes (seedlings and saplings) rather than new species entering. The most sensitive species to early fire are *Detarium microcarpum*, *Annona senegalensis* and *Anogeissus leiocarpus* with a strong reduction of the juvenile population in 10 years of implementation of early fire. Conversely, juveniles of *Entada africana* were more abundant in the burnt areas than in the protected ones. Early fire applied annually in the long term induced higher coppice mortality of *Crossopteryx frebrifuga* and *Combretum fragrans* in Laba [55].

Fire induced re-growth of some **perennial** grasses such as *Andropogon gayanus*, *A. ascinodis* and *Diheteropogon amplexans*. However, the ability of re-growth depends on soil physical characteristics and soil humidity at the time of burning. These new shoots are more nutritious than old straws and are preferably grazed by herbivores. Nonetheless, frequent fires provoke the disappearance of these perennial species due to exhaustion of their reserves and by their replacement by more competitive annual grass species like *Loudetia togoensis* [48 or 55]. In the more humid zone, in the Guinean savanna of Ghana, protection against fire and grazing for thirty years (1957 – 1989) of a **plot** of savanna bordering a forest enabled a good regeneration of valuable forest and savanna species like *Milicia excelsa*, *Antiaris toxicaria*, *Ceiba pentandra*, *Albizia ferruginea*, *Lonchocarpus sericeus* and the **exotic species** *Azadirachta indica* [56].

Vegetation is the **habitat** and feeding place of **fauna**. Thus, the influence of fire on vegetation has an indirect effect on fauna. The biological diversity of large **mammals** depends on the abundance and nutritive value of palatable plants. Indeed Klop and Prins [57] affirm that in the West African savannas, fires, by influencing the quantity and quality of the grass layer, play a more preponderant role than **edaphic** and climatic factors concerning diversity of herbivores.

Almost all West African countries opted for practicing early fires as planning tools in the Sudanian and Guinean savannas. Indeed, by maintaining a certain balance between the ligneous and grass strata, early fires enable a multiple use of savanna resources.

Fig. 2.31: Épaisse couche de fume dans l'atmosphère, causé par un feu de brousse. | Thick layer of smoke in the atmosphere caused by a bush fire. NYA



BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE 2

REFERENCES CHAPTER 2

- [1] UNEP/CBD/SBTIA. 2005: Rapport de la Convention sur la Diversité Biologique, /11/6, 2005.
- [2] Wilson EO. 2002: The future of life. Alfred A. Knopf, New York.
- [3] Barbault R, Cotnet C, Jouzel J, Mégie G, Sachs I, Weber J. 2002: Johannesburg, Sommet Mondial du Développement Durable : Quel enjeux ? Quelle contribution Scientifique ? Ministère des Affaires Etrangères Français-adpf.
- [4] Conservation International. 2005: <http://www.biodiversityhotspots.org/>.
- [5] Hails C. (ed.). 2008: Living Planet Report 2008. WWF International, Gland, Switzerland.
- [6] FAO. 2005: www.fao.org/biodiversity
- [7] Lévêque C. 1994: Environnement et diversité du vivant. Collection Explora, Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris.
- [8] Benneh G. 1990: Towards sustainable development: an African perspective. *Geografisk Tidsskrift*, 90, 14.
- [9] Groombridge B & Jenkins MD. 2002: World Atlas of Biodiversity. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA.
- [10] ADOP. 2004: Les Etats d'Afrique in Agenda 2004, SAEC, Ouagadougou
- [11] Microsoft@Encarta@2008.1993-2007 Microsoft Corporation.
- [12] Ministère de l'Economie et des Finances. 2008: RGPH-2006, INSD, Ouagadougou.
- [13] Les Éditions Jeune Afrique. 2005: Atlas de l'Afrique, Burkina Faso. Les éditions J.A. aux Éditions du Jaguar, Paris.
- [14] Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change (IPCC): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, New York, 2007), pp. 21–91.
- [15] Fink A. 2006: Der westafrikanische Monsun (The West African Monsoon). *promet*, 32, 114-122.
- [16] Shanahan TM, Overpeck JT, Anchukaitis KJ, Beck JW, Cole JE, Dettman DL, Peck JA, Scholz CA & King JW. 2009: Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. *Science* 324, 377, DOI: 10.1126/science.1166352.
- [17] Laux P, Kunstmann H & Bárdossy A. 2008: Predicting the regional onset of the rainy season in West Africa. *Int. J. Climatol.* 28, 329–342, DOI: 10.1002/joc.1542.
- [18] Tarhule A & Hughes MK. 2002: Tree-ring research in semi-arid West Africa: need and potential. *Tree-ring Research*, 58, 31-46.
- [19] Schöngart J, Orthmann B, Hennenberg KJ, Porembski S & Worbes M. 2006: Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. *Global Change Biology* 12, 1130-1150.
- [20] Conacher AJ & Dalrymple JB. 1977: The nine unit land surface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma*, 18.
- [21] FAO. 1988: Soil map of the world. Revised legend, by FAO–UNESCO–ISRIC. World Soil Resources Report No. 60, Rome.
- [22] FAO. 2006: World reference base for soil resources ; a framework for international classification, correlation and communication; World Soil Resources Reports 103.
- [23] Gerrard J. 1992: Soil geomorphology: an integration of pedology and geomorphology Chapman & Hall.
- [24] Kaloga B. 1965: Sols et pédogenèse dans les bassins versants des Volta Blanche et rouge (cours moyen). Centre ORSTOM de Dakar.
- [25] Kaloga B. 1976: Contribution à l'étude du cuirassement : relations entre les gravillons ferrugineux et leurs matériaux d'emballage. *Cahiers ORSTOM, sér. Pédol.*, 14, 4, 299-319 p.
- [26] Maignien R. 1956: De l'importance du lessivage oblique dans le cuirassement des sols en AOF. *Congr. Int. Sci. Sol.* 6, Paris, vol. E, 463-467 p.
- [27] Michel P. 1973: Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie ; étude géomorphologique Tome 1, ORSTOM Paris Imprimerie DARANTIERE, Dijon.
- [28] Roose E. 1980: Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale, Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées no. 130, Collection Travaux et Documents, ORSTOM, Paris (1980) thèse d'Etat, 569 p.
- [29] Roose E & Serrailh JM. 1990: Erodibilité de quelques sols tropicaux: vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers d'ORSTOM, Série Pédologie* 25, 7-30 p.
- [30] Tardy Y & Novikoff A. 1988: Activité de l'eau et déplacement des équilibres gibbsite-kaolinite dans les profils latéritiques. *C.R. Acad. Sci., Paris, Sér. II.*
- [31] Roose E. 1973: Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du rissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Thèse docteur-ingénieur Abidjan, 125 p.
- [32] Laris P. 2002: Burning the seasonal mosaic: Preventative burning strategies in the wooded savanna of Southern Mali. *Human Ecology*, 30, 155–186.
- [33] Goldammer GJ & De Ronde C. 2004: Wildland Fire Management, handbook for Sub-Sahara Africa. Germany: Global Fire Monitoring Center.
- [34] Govender N, Trollope WSW & Van Wilgen BV. 2006: The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology* 43, 748–758.
- [35] Baxter PWJ & Getz WM. 2005: A model framed evaluation of elephant effects on tree and fire dynamics in African Savannas. *Ecological Applications* 15, 1331–1341.
- [36] Arbonnier M. 2002: Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. France: CIRAD-MNHN.
- [37] Whelan RJ. 1995: The ecology of fire. New York, Cambridge University Press.

- [40] Monnier Y. 1990: La poussière et la cendre. Paysages, dynamique des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest. Paris: Ministère de la Coopération et du Développement.
- [41] Sonko I. 2000: Etude des effets de différents régimes de feux sur la dynamique de la flore et de la végétation ligneuses des plateaux du Parc National du Niokolo-Koba (Sud-Est du Sénégal). Ph.D. thesis, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [42] Bailly Y. 1992: Maitriser les feux. *Agripromo*, 4, 5–6.
- [43] Paré E. 1992: Maitriser les feux: Tous les feux n'ont pas la même signification. *Agripromo*, 76, 11–12.
- [44] Backéus I. 1992: Distribution and vegetation dynamics of humid savannas in Africa and Asia. *Journal of vegetation science*, 3, 345–356.
- [45] Dereix Ch & Amani N. 1978: Etude de l'action des feux de brousse sur la végétation. Les parcelles feux de Kokondékro: Résultats après quarante ans de traitement. Bouaké: Centre technique forestier tropical de Côte d'Ivoire.
- [46] Bouxin G. 1975: Action des feux saisonniers sur la strate ligneuse dans le Parc National de l'Akagera (Rwanda, Afrique Centrale). *Végétation*, 30, 189–196.
- [47] Landmann T. 2003: Estimating fire severity from remote sensing information for experimental fires in the Kruger National Park (KNP). *South African Journal of Sciences* 99, 357–360.
- [48] Sawadogo P, Zida D, Sawadogo L, Tiveau D, Tigabu M & Oden PC. 2007: Fuel characteristics, fire behavior and temperature in a savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. *International Journal of Wild land Fire*, 16, 531-539.
- [49] Skoglund J. 2009: The role of seed banks in vegetation dynamics and restoration of dry tropical ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 3, 357 – 360.
- [50] Devineau JL & Fournier A. 1998 : Écologie d'une savane africaine. Synthèse provisoire des résultats acquis. ORSTOM / ERMES. 77 p.
- [51] Dayamba SD, Tigabu M, Sawadogo L & Oden PC. 2008 : Seed germination of herbaceous and woody species of the Sudanian savanna-woodland in response to heat shock and smoke. *Forest Ecology and Management*, 256, 462-470.
- [52] Zida D, Sawadogo L, Tigabu M, Tiveau D & Odén PC. 2007: Dynamics of sapling population in savanna woodlands of Burkina Faso subjected to grazing, early fire and selective tree cutting for a decade. *Forest Ecology and Management*, 243, 102-115.
- [53] Menaut JC, Lepage M & Abbadie L. 1995: Savannas, woodlands and dry forests in Africa. In: S.H. Bullock, H.A. Mooney and E.E. Medina (eds.), *Seasonally dry tropical forests*. 1995, 64 - 92.
- [54] Daniell JW, Chappell WE & Couch HB. 1969: Effect of sublethal and lethal temperature on plant cells. *Plant Physiology*, 44, 1684-1689.
- [55] Sawadogo L, Nygård R & Pallo F. 2002: Effects of livestock and prescribed fire on coppice growth after selective cutting of Sudanian savannah in Burkina Faso. *Annals of Forest Science*, 59, 185-195.
- [56] Swaine MD. 1992: The Effects of Fire Exclusion on Savanna Vegetation at Kpong, Ghana. *BIOTROPICA* 24, 166-172.
- [57] Klop E & Prins HHT. 2008: Diversity and species composition of West African ungulate assemblages: effects of fire, climate and soil. *Global Ecology and Biogeography* 17, 778–787.