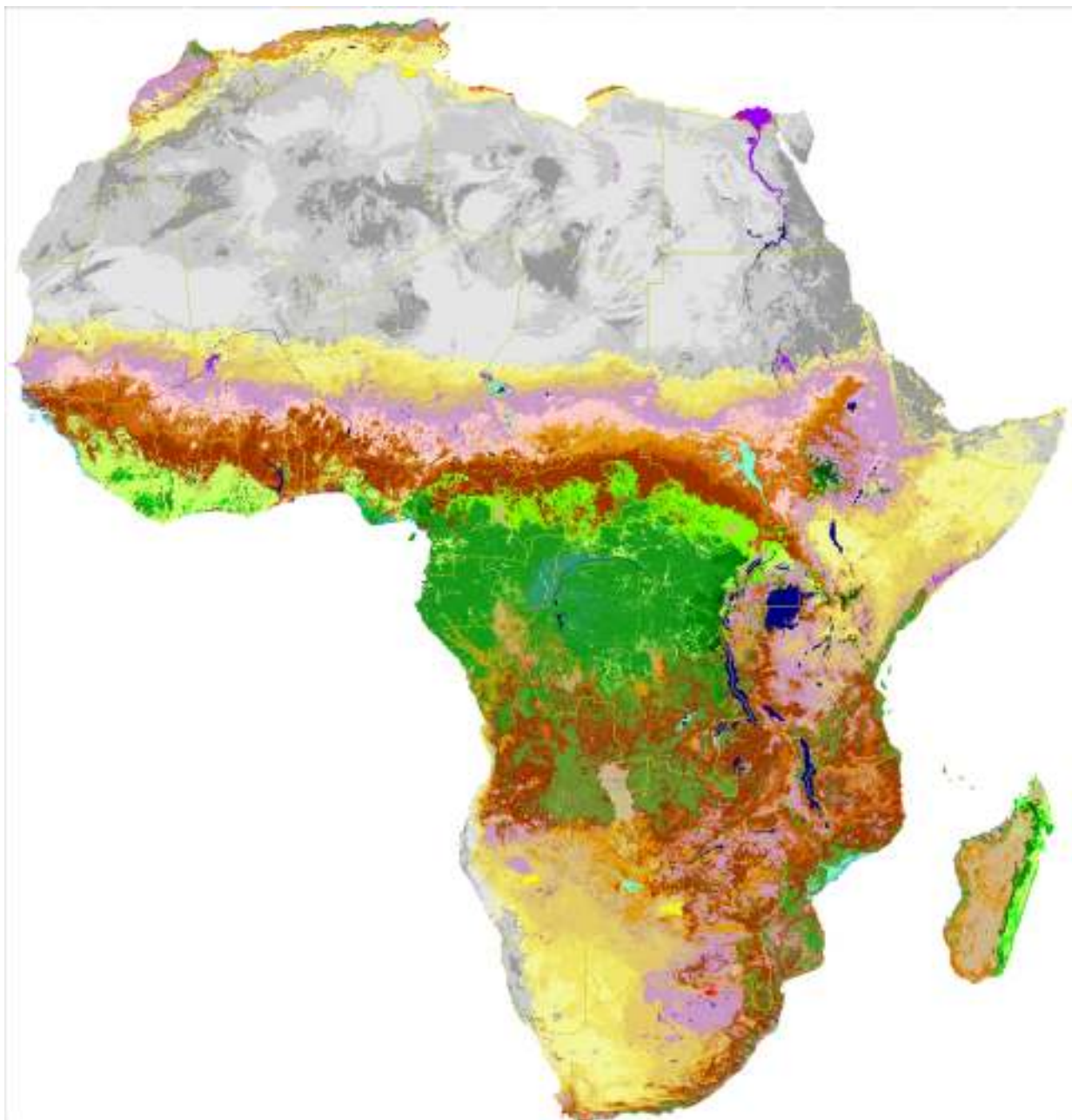


A LAND COVER MAP OF AFRICA

CARTE DE L'OCCUPATION DU SOL DE L'AFRIQUE



*P. Mayaux, E. Bartholomé, M. Massart, C. Van Cutsem, A. Cabral,
A. Nonguierma, O. Diallo, C. Pretorius, M. Thompson,
M. Cherlet, J-F. Pekel, P. Defourny, M. Vasconcelos,
A. Di Gregorio, S.Fritz, G. De Grandi ,
C..Elvidge, P.Vogt, A. Belward*



EUROPEAN COMMISSION
JOINT RESEARCH CENTRE

2003

EUR 20665 EN

A LAND COVER MAP OF AFRICA
CARTE DE L'OCCUPATION DU SOL DE L'AFRIQUE

*P. Mayaux, E. Bartholomé, M. Massart, C. Van Cutsem, A. Cabral,
A. Nonguierma, O. Diallo, C. Pretorius, M. Thompson,
M. Cherlet, J-F. Pekel, P. Defourny, M. Vasconcelos,
A. Di Gregorio, S.Fritz, G. De Grandi ,
C..Elvidge, P.Vogt, A. Belward*

LEGAL NOTICE

Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of the following information.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet. It can be accessed through the Europa server (<http://europa.eu.int>)

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003

ISBN 92-894-5370-2

© European Communities, 2003

Reproduction is authorized provided the source is acknowledged

Printed in Italy

The Land-cover Map of Africa

Explanatory notes

Project organisation

<i>Co-ordination and continental map production:</i>	P. Mayaux ¹
<i>Regional vegetation experts:</i>	P. Mayaux ¹ , E.Bartholomé ¹ , M. Massart ¹ , M. Cherlet ² , O. Diallo ³ , A. Nonguierma ⁴ , A. Cabral ⁵ , M. de Vasconcelos ⁵
<i>Legend definition</i>	A. Di Gregorio ² , C. Van Cutsem ⁶ , A. Cabral ⁵ , A. Nonguierma ⁴ , O. Diallo ³ , C. Pretorius ⁷
<i>SPOT VGT data preparation and interpretation:</i>	P. Mayaux ¹ , E.Bartholomé ¹ , P.Vogt ¹ , C. Van Cutsem ⁶ , A. Cabral ⁵ , J-F. Pekel ⁶
<i>Radar data preparation:</i>	G. De Grandi ¹
<i>DMSP data preparation:</i>	C.Elvidge ⁸
<i>GIS:</i>	S.Fritz ¹
<i>Web presentation:</i>	A.Hartley ¹
<i>GLC 2000 project co-ordination:</i>	A.S.Belward ¹ E.Bartholomé ¹

¹Global Vegetation Monitoring Unit, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy

²United Nations' Food and Alimentation Organization (FAO), Rome , Italy

³Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Senegal

⁴Centre AGRHYMET, Niamey, Niger

⁵Tropical Research Institute, Lisbon, Portugal

⁶Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

⁷CSIR, Pretoria, South Africa

⁸NOAA-NESDIS National Geophysical Data Center- Boulder-USA

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial support of the European Commission. The VEGETATION data used in the framework of this project have been provided by VEGA 2000, an initiative co-sponsored by the French Space Agency, CNES, the Flemish Institute for Technological Research (VITO, Belgium) and the Joint Research Centre.

The Global Land Cover 2000 Project

This map has been produced as part of the Global Land Cover mapping exercise and the Global Burnt Area mapping exercise, organised and led by the Joint Research Centre's Global Vegetation Monitoring Unit, based in the Institute for Environment and Sustainability. A global land cover map and global burnt area map has been assembled from the regional maps produced by the GVM unit and partner institutions.

For an overview of the project:

E. Bartholomé, A. S. Belward, F. Achard, S. Bartalev, C. Carmona-Moreno, H. Eva, S. Fritz, J-M. Gregoire, P. Mayaux, and H-J. Stibig, 2002, *GLC 2000: Global Land Cover mapping for the year 2000*, EUR 20524 EN, European Commission, Luxembourg.

Grégoire J-M., K. Tansey, and J.M.N. Silva, 2003, The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, in press.

Global map co-ordination and harmonization:

Etienne Bartholomé, Alan Belward, Steffen Fritz, JRC Ispra

Global burnt area map co-ordination and harmonization:

Jean-Marie Grégoire, Kevin Tansey, JRC, Ispra

Regional map co-ordination:

Africa –: Philippe Mayaux, JRC, Ispra

Asia –: Jurgen Stibig, JRC, Ispra

Australia –: Philippe Mayaux, JRC, Ispra

Europe –: Etienne Bartholomé, JRC, Ispra

Northern Eurasia –: Alan Belward, JRC, Ispra

North and Central America –: Tom Loveland, US Geological Service and Rasim Latifovic Canadian Center for Remote Sensing

South America –: Hugh D. Eva, JRC, Ispra

H.D. Eva, E.E. de Miranda, C.M. Di Bella, V. Gond, O. Huber et al., 2002, A Vegetation Map of South America, 34 p., EUR 20159 EN, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-894-4449-5.

Table of contents

1. Introduction	1
1.1. Objectives and presentation of the map	1
1.2. Previous maps of Africa	1
1.3. Applications of such maps.....	1
2. Methodological approach	2
2.1. Use of multi-resolution satellite data.....	2
2.1.1. SPOT VGT Instrument.....	2
2.1.2. JERS-1 and ERS Radar data	2
2.1.3. DMSP data	3
2.1.4. Use of the digital elevation model.....	3
2.2. Image pre-processing.....	3
2.2.1. SPOT-VEGETATION pre-processing.....	3
2.2.2. Geolocation of radar mosaics	4
2.3. Image Classification techniques.....	4
2.3.1. Vegetation formations from SPOT VGT data.....	5
2.3.2. Flooded forests from SAR ERS and JERS data	5
2.3.3. Urban areas from the DMSP stable lights	5
2.3.4. Ancillary data sets	5
3. Legend.....	6
3.1. Forests.....	7
3.1.1. Closed evergreen lowland forests.....	7
3.1.2. Closed evergreen montane and sub-montane forests	8
3.1.3. Degraded evergreen forest.....	8
3.1.4. Closed evergreen swamp forests	8
3.1.5. Mangroves.....	8
3.1.6. Mosaic Forest / Croplands.....	9
3.1.7. Mosaic Forest / Savanna	9
3.1.8. Closed deciduous woodlands (Dense Miombo).....	9
3.2. Woodlands and shrublands.....	9
3.2.1. Deciduous open woodlands.....	9
3.2.2. Deciduous closed / open shrublands with sparse trees	9
3.2.3. Deciduous closed / open shrublands	9
3.3. Grasslands.....	10
3.3.1. Closed grassland.....	10
3.3.2. Open grassland with sparse shrubs.....	10
3.3.3. Open grassland	10
3.3.4. Sparse grassland	10
3.3.5. Swamp shrubland and grassland	10
3.4. Agriculture	10
3.4.1. Croplands	11
3.4.2. Croplands mixed with open vegetation	11
3.4.3. Irrigated agriculture.....	11
3.4.4. Tree crops.....	11

3.5.	<i>Bare soil</i>	11
3.5.1.	Bare rock	11
3.5.2.	Stony desert (reg)	11
3.5.3.	Sandy desert and dunes (erg)	11
3.5.4.	Salt hardpans	11
3.6.	<i>Other land-cover classes</i>	11
3.6.1.	Cities	11
3.6.2.	Waterbodies.....	11
4.	Data Access and update	12
5.	National statistics	12
6.	References	14

List of tables

<i>Table 1: Previous land-cover maps of Africa</i>	1
<i>Table 2: SPOT-4 VEGETATION main characteristics</i>	2
<i>Table 3: Ancillary sources of information for class labelling</i>	5
<i>Table 4: Translation of the French and English names</i>	7
<i>Table 5: National land-cover areas derived from the GLC2000 map.</i>	13

1. Introduction

1.1. Objectives and presentation of the map

The need to document the extent and condition of the world's ecosystems is well recognised. This is especially true in tropical areas, where land cover change has been unprecedented in recent decades. The advent of Earth observation has facilitated the task of mapping and monitoring many of the areas, hitherto difficult to access. This map follows the first TREES map (Mayaux et al. 1997), which focused on the humid forests of Central Africa and was based on 1992 satellite imagery. The new map is much more than an update of the TREES I map, in that it presents a larger geographic region (all of Africa), has more reliable spatial data, and a higher thematic content. These improvements are due to the increased availability of higher quality satellite data. The original TREES I map was created from a single source (NOAA-AVHRR) data, which were generated for meteorological purposes, rather than for vegetation monitoring.

The new map enables us to monitor some of the major trends in deforestation that have occurred over the last ten years. Whilst the spatial resolution of the satellite imagery is not adequate to detect small openings in the forest cover or selective extraction, it is capable of detecting the main changes that occur. It is therefore a valuable document both from which to base finer studies and for directing research, aid and development programmes. The data are available for downloading through the Internet.

1.2. Previous maps of Africa

Several continental cartographic studies have already been undertaken: The first ones were based on the compilation of national and local maps enriched by the consultation of many experts (White, 1983; Sayer et al., 1992; Olson et al., 2001). By the end of the 1980s the International Geosphere Biosphere Programme (IGBP) had shown a clear requirement for global land cover maps to support Global Change research. Loveland *et al.* (1999) published the IGBP land cover map based on 1 km resolution data from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) collected between 1992 and 1993. This product has been widely used in Global Change research and to support the work of other groups such as biodiversity NGOs and development assistance programmes. However the latter two groups of users showed the need for better spatial and thematic detail. These users are effectively exploiting the map on regional / continental scales, rather than as a single global dataset.

Table 1: Previous land-cover maps of Africa

Title	Author	Date	Methods
Life zones	Holdridge	1971	Bioclimatic stratification
Vegetation of Africa	White	1983	Consultation of experts and compilation of local information
Conservation atlas of tropical forests	Sayer et al.	1992	Compilation of national forest maps
Global land cover characterization	Loveland et al.	1999	Satellite-based analysis
Global land-cover classification	Hansen et al.	2000	Satellite-based analysis
Global ecological zones	FAO	2000	Agregation of regional maps
Terrestrial ecosystems (WWF)	Olson et al.	2001	Consultation of experts and compilation of local information

1.3. Applications of such maps

The spatial resolution of the map (1 km² pixel resolution) does not allow for accurate determination of land cover trends. For many classes the spatial fragmentation of the land cover leads to an overestimation / underestimation of land cover classes depending on the spatial arrangement of that class. In Africa, there is a specific problem with the agricultural areas that are often mixed with the natural grasslands or shrublands. However, for most of the continent this resolution obtains good results taking into account the mean size of

vegetation communities.

The thematic accuracy of such maps is high at aggregated levels. Thus leaving the classification at the level of forests, shrub lands and grasslands results in a higher class confidence than more specific class labels.

At the same time, comparisons with the previous maps should only be made at the qualitative level. It would be exceedingly rash to attempt to measure land cover change between the current map and the previous TREES map. An appropriate approach for such an exercise would be to use the perceived changes between such maps in stratification approach for the use of finer spatial resolution data (Achard et al. 2002).

2. Methodological approach

2.1. Use of multi-resolution satellite data

A number of different types of remotely sensed data are available for vegetation mapping at continental scales, each of these sources has its own potential application. Whilst previous maps have been derived from single source data, we use four sets of satellite information to provide the map. Each of the sources of data used, outlined below, contribute to mapping a specific ecosystem or land cover, seasonality or water regime.

2.1.1. SPOT VGT Instrument

The VEGETATION instrument was launched on-board SPOT-4 in March 1998. Since then, VEGETATION data are being received by the Kiruna station (Sweden), processed and archived by the Vegetation Image Processing Centre (CTIV) in Mol (Belgium) and distributed by Spot-Image. The principal characteristics of the sensor (Table 1) are optimised for global scale vegetation monitoring. Although the VEGETATION sensor presents similarities with AVHRR, they differ by a few fundamental characteristics. First, the acquisition is based on a push-broom system, which limits the off-nadir pixel-size augmentation. Second, the presence of a Short Wave Infrared channel (SWIR) permits the study of the vegetation water content. Finally, the ground segment is organised to acquire, process and archive all daily data over land surfaces at full resolution.

Atmospheric corrections are routinely done using the SMAC model (Rahman & Dedieu, 1994) for evaporation, ozone and aerosols effects. The blue channel should improve this aspect later in operational mode. The geometric accuracy is less than 0.3 pixel for local distortion. Pixels are sampled using uniform grid spacing, allowing to correct distortion for inter-band registration, satellite orbit, attitude and elevation. More details are available in the VEGETATION Users Guide (1999).

The VGT data were provided by VITO in both S1 (single-day mosaics) and S10 (ten day composites based on maximum NDVI) (www.vgt.vito.be). The pre-processing is described in section 2.2.1.

Table 2: SPOT-4 VEGETATION main characteristics

Field of view	101°
Ground swath	2250 km
Altitude	830 km
Inclination orbit	98.72°
Instantaneous Field Of View	1.15 km at nadir ; 1.3 km at 50° off-nadir
Absolute positioning pixel	350 m
Pixel geometric superposition	< 0.5 km
Blue channel	0.43 – 0.47 µm
Red channel	0.61 – 0.68 µm
Near Infrared channel	0.78 – 0.89 µm
Short Wave Infrared channel	1.58 – 1.75 µm

2.1.2. JERS-1 and ERS Radar data

The Global Rain Forest Mapping project (GRFM), an international collaborative effort led and managed by

the National Space Development Agency of Japan (Rosenqvist et al. 2000) has produced regional satellite mosaics of the humid tropical ecosystems of the world derived from the JERS-1 L band SAR. The data come as full mosaics covering the humid forests, geometrically corrected at a nominal 100m pixel with backscatter scaled to 8 bit resolution. Two mosaics were produced of Central African tropical forests, one the high water mosaic, coinciding with the high water period (October-November 1996) and the other low water mosaic produced from data (January-March) to coincide with the low water period.

The Central Africa Mosaic Project (CAMP) was started in 1994 by a joint initiative of the European Commission (EC) and the European Space Agency (ESA). Some 700 C-band SAR (Synthetic Aperture Radar) scenes were acquired on demand by the ESA ERS-1 and ERS-2 satellites over the Central Africa region in 1994 (July, August) and in 1996 (January, February) in two different seasonal conditions.

A multi-scale pyramid of radiometric and texture products was derived by the SAR original scenes, and baseline mosaics generated at 100 m scale (De Grandi et al., 2000). The texture measure is derived by a local estimator of the normalised standard deviation of the amplitude and by a suitable filter that reduces the estimator variance in statistically stationary areas while preserving discontinuities and sharp variations. The texture measure and the filter are described in De Grandi et al. (1999).

2.1.3. DMSP data

The Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS) has a unique low light imaging capability originally developed for the detection of clouds using moonlight. It can also detect human settlements, fires, gas flares, heavy lit fishing boats, lightning and aurora (Elvidge et al. 1997). The sensor has two spectral bands (visible and thermal infra-red) and a swath of around 3000 km. The OLS has low light sensing capabilities which go down to 9-10 watts which is much lower than comparable bands of other sensors such as NOAA AVHRR or Landsat Thematic Mapper. By monitoring the frequency of light sources, the location of human settlements can be determined, so-called “stable lights”.

2.1.4. Use of the digital elevation model

Altitude thresholds for the montane forests were set using the US Geological Survey’s 30 arc-second database “GTOPO30” (USGS 1997, Bliss and Olsen 1996).

2.2. Image pre-processing

2.2.1. SPOT-VEGETATION pre-processing

In order to fully exploit the temporal signal and the remarkable geometrical stability of the SPOT-VEGETATION data, images were processed in two different ways: the filtering of the S-10 temporal series of NDVI and NDWI and the computation of monthly images on critical periods.

2.2.1.1. Filtering of the S-10 NDVI and NDWI series

The NDVI data, as provided by VEGETATION, is exposed to a variety of sensor and environmental issues, which lead to a non-smooth NDVI time profile. This feature has a direct impact on the outcome of land cover classification or any other product derived from the VEGETATION S10 NDVI data in general. Clouds, for example, may persist even over a decade in some regions, and therefore decrease the NDVI signal for a given pixel. When observing the NDVI for a given pixel over time, it is feasible to select only the maximum NDVI and interpolate for singular events.

The global applicability of the NDVI correction requires accounting for the high degree of variability in the time profile. This is achieved by stepwise interpolation over sets of 21 decades with a 5th degree polynomial function. Here, two consecutive sets have an overlap region of 5 decades to avoid singular points in the final smoothed time profile at the intersection of two neighbouring sets. Data from 1999 and 2001 are used for computing the interpolation at the beginning and the end of the year 2000. Next, a new profile is set up by comparing the previously obtained smoothed profile with the original NDVI time profile and selecting the higher NDVI for each decade. This process is repeated six times to ensure a smooth profile with maximum NDVI selection. The settings for the repetition, degree of polynomial, and subset of decades for stepwise interpolation have been obtained as a trade-off between requirements, resulting accuracy, and especially computing resources. A similar philosophy is applied to correct for the NDWI time profile.

2.2.1.2. Computation of monthly images

In order to fully exploit the spatial detail of the SPOT VEGETATION images, it is necessary to generate monthly images with the four spectral channels. The contributors tested different methods: one based on a statistical concept, the other on a more physical approach.

In the physical approach (Cabral et al., in press), monthly composite images were produced testing various criteria: maximization of NDVI; minimization of the Red channel; maximization of NDVI followed by minimization of SWIR; selection of the third lowest value of NIR; selection of the third lowest value of an albedo-like index, designated by “darkness”. Visual and quantitative analysis indicate that the last approach produces the cleanest images. The third lowest value was selected in order to avoid the cloud shadows (Figure 4).

The statistical approach starts from two facts: (i) the selected criterion often favours specific angle configurations and atmospheric conditions – the Maximum NDVI selects more off-nadir pixels – (ii) only a small part of the available information is used for the resulting image (10% in the ten-days composites). This new approach (Van Cutsem et al., in press) computes an average image (the most stable parameter of a distribution) over a certain period taking into consideration all the cloud-free images. It requires a good geometric registration and an efficient cloud-screening. A threshold based on the ration between the SWIR and the Blue Channels was developed (Cherlet, 2001). The comparison with the maximum NDVI composite is shown in Figure 5.

2.2.2. Geolocation of radar mosaics

The GRFM Africa mosaic was processed using a block adjustment algorithm (Leberl 1990, Mirsky 1990) and a scene geometry model with three degrees of freedom - scene centre translation in Northing and Easting, and scene rotation (De Grandi et al., 2000). The observation equations are based on tie-points which are measured by image correlation between adjacent scenes belonging to the same date mosaic, or between scenes at two different dates. In addition the nominal image location derived from the SAR ancillary data was also included in the block adjustment. The geolocation accuracy was validated including in the block adjustment an independent source of observations. Digital data from the World Vector Shoreline database (1:250 000) was used for the ground control points (GCPs) along coastlines. Digital topographic maps produced in the 1950s at the scale 1:200 000 were also used for the GCPs in the continental part in the Central African Republic (CAR) and the Democratic Republic of Congo (DRC).

The CAMP mosaic on the other hand was compiled using as geolocation information the nominal position in an equiangular projection system of each image included in the mosaic. The SAR images that compose the mosaic are derived from the ESA ground range products (PRI) by low pass filtering and down-sampling at 100 m pixel size and are called frames. The coordinates of each frame (given in the SAR leader files) are derived from the spacecraft orbital data, and are accurate enough to achieve a good internal consistency when combined with tie-points in the overlap areas of the series of frames belonging to the same orbit (De Grandi et al., 1999).

Error propagation in the geolocation of the CAMP mosaic and in the conversion between the two projection systems makes it impossible to overlay directly the two mosaics by rubber sheeting. The GRFM data set was therefore taken as a reference system and the C-band ERS layer composed by rectifying each ERS frame, after down sampling at 100 m pixel spacing, to the reference mosaic. The rectification procedure uses polynomial warping and a set of tie points that are measured automatically between each CAMP ERS frame and the corresponding subset in the GRFM mosaic.

2.3. Image Classification techniques

The difficulty to reliably and consistently mapping the whole Africa can be explained by the following facts:

- The land-cover classes last from the arid deserts to the tropical rain forests;
- The land-cover seasonality is very variable according to the period, the number and duration of the vegetation flushes.
- Nearly permanent clouds cover Central Africa.

2.3.1. Vegetation formations from SPOT VGT data

Since various composition techniques were tested, various classification methods were also used.

An unsupervised clustering algorithm (ISODATA) was used to produce 100 spectral classes from the VEGETATION mosaics (NDVI profiles or average images). The 100 classes are then labelled using visual interpretation aided by thematic maps and class spectral statistics.

Over the arid areas, rigid thresholds on the maximum vegetation cover, the duration and the time of the growing season and the period defined the various land-cover-classes (Bartholomé *et al.*, 2002).

2.3.2. Flooded forests from SAR ERS and JERS data

The classification procedure is based on a rule based hierarchical classifier. A feature vector composed by the ERS amplitude data, the JERS-1 amplitude data and a texture measure derived from the high resolution (12.5 m pixel size) ERS data is used. The classification rules are defined by inference from a series of training sets in different areas of the Congo floodplain (Mayaux *et al.*, 2002). The training sets were selected by visual inspection using national maps such as the Forest Map of D.R. Congo produced by the Forest Inventory Service (Service Permanent de Inventaire et de Aménagement Forestiers) (SPIAF 1995) or local maps, such as the INEAC (Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge) map of Oubangui (Evrard 1960). The different spatial patterns (linear ribbons, massive patches) were taken into consideration in the training sets selection procedure.

2.3.3. Urban areas from the DMSP stable lights

Due to the scattering of light, the DMSP data tend to overestimate the urban extent. The data set have therefore been used as a seeding layer to locate the presence of large urban areas in the SPOT VGT data set (see 2.1.4). A mask was created from the stable lights data to extract the corresponding areas from the SPOT data, which was then classified using ISODATA into ten thematic classes. Visual interpretation was used to retain those classes related to urban areas.

2.3.4. Ancillary data sets

Forest and land cover maps were assembled to aid in the labelling of spectral classes. These cover the majority of the land surface of Africa, from continental maps. In addition to this, maps and information on the spatial distribution and characteristics of ecosystems were collected from the literature.

Table 3: Ancillary sources of information for class labelling

Region	Map author / producer (institution), date
Continental	White (UNESCO), 1983
Continental	Olson et al (World Wildlife Fund), 2001
Continental	Lavenu (FAO), 1987
Maghreb	CORINE Land Cover (European Commission), 1990
Angola	Carta Da Vegetacao Do Cuando Cubango
Benin	Carte écologique du couvert végétal du Bénin (FAO), 1979
Burkina Faso	Fontès and Guinko, 1995
Burundi	AFRICOVER (FAO), 2002
Cameroon	Letouzey, 1968/ CENADEFOR, 1985
Central African Republic	Boulvert (ORSTOM), 1986
Chad	Carte Internationale Du Tapis Végétal (ORSTOM), 1968
Congo	Laudet, 1967
D.R. Congo	SPIAF, 1995

Region	Map author / producer (institution), date
Egypt	AFRICOVER (FAO), 2002
Equatorial Guinea	CUREF, 2001
Eritrea	AFRICOVER (FAO), 2002
Ethiopia	AFRICOVER (FAO), 2002
Gabon	Caballé et Fontès, 1977
Ghana	Land Cover and Land Use Database, 1998
Kenya	Delsol (ICIV / CNRS), 1995 / AFRICOVER, 2002
Lesotho	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Liberia	MPAE, 1979
Madagascar	Faramala, 1981
Mali	Projet Inventaire des Ressources Ligneuses (PIRL), 1985-1991
Rwanda	AFRICOVER (FAO), 2002
Senegal	U S Geological Survey, 1985
South Africa	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Sudan	AFRICOVER (FAO), 2002
Swaziland	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Tanzania	AFRICOVER (FAO), 2002
Uganda	AFRICOVER (FAO), 2002
Zimbabwe	Woody cover map (Forestry Commission & GTZ), 1997

3. Legend

The classification scheme for the legend is based on vegetation structural categories (Eiten 1968). Thus in the first level the classes are broadly defined as:

- Forests
- Woodlands and shrub lands
- Grasslands
- Agricultural lands
- Bare soil
- Other land-cover classes

Subsequently, we introduce percentage vegetation cover (open/closed), seasonality, flooding regime, climate and altitude. The latter two, altitude and climate, are introduced for ecological reasons – a separation of tropical vegetation forms from temperate ones, and of highland ones from lowland ones. At times this presents methodological problems, notably in areas of low vegetation cover which may be classified as - steppe / barren / desert. Details of the class definitions are given in Table 3.

Within the scope of the GLC 2000 mapping exercise (Belward et al. 2002), a common global legend has been proposed to satisfy the requirements of global mapping, whilst remaining thematically accurate at the local level. To this end a global legend, based on the FAO LCCS (Land cover classification system - Di Gregorio and Jansen, 2000) has been developed. The map legend has been prepared in English and French (Table 4).

Table 4: Translation of the French and English names

English name	French name
<i>Forests</i>	<i>Forêts</i>
Closed evergreen lowland forest Degraded evergreen lowland forest Montane evergreen forest (> 1500 m) Sub-montane forest (>900 m) Swamp forest Mangrove Mosaic Forest / Croplands Mosaic Forest / Savanna Closed deciduous forest (Miombo)	Forêt dense humide Forêt dense dégradée Forêt de montagne (>1500 m) Forêt sub-montagnarde (>900 m) Forêt marécageuse Mangrove Mosaïque agriculture / forêt humide Mosaïque forêt / savane Forêt décidue dense(Miombo)
<i>Woodlands, shrub lands and grasslands</i>	<i>Savanes</i>
Deciduous woodland Deciduous shrub land with sparse trees Open deciduous shrub land Closed grassland Open grassland with sparse shrubs Open grassland Sparse grassland Swamp bushland and grassland	Savane boisée décidue Savane arborée à arbustive décidue Savane arbustive décidue Savane herbacée dense Savane herbacée ouverte à faible strate arbustive Savane herbacée ouverte Pseudo-steppe Savane herbacée et arbustive inondée
<i>Agriculture</i>	<i>Agriculture</i>
Croplands (>50%) Croplands with open woody vegetation Irrigated croplands Tree crops	Agriculture (>50 %) Mosaïque agriculture / végétation sèche Agriculture irriguée Vergers
<i>Bare soil</i>	<i>Autres occupations du sol</i>
Bare rock Stony desert Sandy desert and dunes Salt hardpans	Roche nue Désert rocheux Désert sableux et dunes Dépôts salins
<i>Other land-cover classes</i>	<i>Autres occupations du sol</i>
Waterbodies Cities	Eau Villes

3.1. Forests

3.1.1. Closed evergreen lowland forests

Forest classes on land up to 1000 metres above mean sea level with tree canopy cover is greater than 70% and height greater than 5 metres.

Two main regions are covered by evergreen lowland forests: Central Africa and in a lesser extent West Africa.

The climax ecosystem in the central part of the Congo Basin is **closed evergreen forest**. The upper stratum (35-45 m) of this formation is composed of a few shadow evergreen species (*Gilbertiodendron dewevrei*, *Julbernardia seretii*, *Brachystegia laurentii*...), well distributed in age. The high canopy density precludes the development of shrub and grass strata and favours epiphytes. The thermal gradient in the canopy is very marked, while the atmospheric moisture is permanently high. The closed evergreen forest does not show any

noticeable seasonal behaviour.

At the border of the central “cuvette” and in West Africa, the **closed semi-deciduous forest** becomes the climax formation. It contains some deciduous species in the upper stratum (up to 70 %) mixed with evergreen species. The semi-deciduous forest is floristically richer than the evergreen forest. The age distribution of the upper layer is irregular and the canopy, observed from air, appears very undulating. The low canopy density allows the development of a continuous shrub stratum. The thermal and humidity gradients are less marked than in the previous type, while the seasonality is more marked in mesological conditions. Most of the commercial species are found in the semi-deciduous forest (*Meliaceae*, *Tryplochiton scleroxylon*, *Chlorophora excelsa*...).

3.1.2. Closed evergreen montane and sub-montane forests

Forests occurring at greater than 1000m above mean sea level.

Above an altitude of 1000 m, the floristic composition and the structural profile tend to modify. The trees are smaller, their number is higher, with a less diverse specific composition and a reduced total volume. The main regions of montane or sub-montane forests are found in the Albertine Rift, in East Africa, in Ethiopia, in coastal Central Africa (Mont Cameroon and insular Equatorial Guinea) and in Madagascar. Remnants of Guinean sub-montane forests (Liberia, Guinea, Sierra Leone) were too small to be mapped at the continental level.

Some authors mentioned various altitudinal thresholds for these various regions, but for consistency reasons, we decided to apply the same value that is also applied in the other tropical forest regions. On the other hand, small forest patches lower than 1000 m in Ethiopia and Madagascar were included in the montane class.

3.1.3. Degraded evergreen forest

Forest classes on land up to 1000 metres above mean sea level with tree canopy cover is between 40% and 70% and height greater than 5 metres.

In some parts of West Africa and Madagascar, the forest cover was open by human activities: logging, shifting cultivation, fallows.

3.1.4. Closed evergreen swamp forests

Forests permanently or periodically under the influence of fresh water.

The Congolian Swamp Forest contains the largest areas of swamp forest on the planet. Although not known to be particularly rich in either species richness or endemism, these forests are largely intact. Flooding frequency and drainage conditions of the soil determine the vegetation structure and its species composition and generate several forest types: riparian forests, periodically inundated forests, swamp forests. The upper layer (up to 45 m in the best conditions) is more open and heterogenous than in the other types. Due to the density of the hydrographic network, the edaphic forests cover large areas in the centre of the Congo basin, leaving room for the ombrophilous equatorial forest on the interfluves only. The endemic composition is diversified though to be likely poor (*Uapaca* spp., *Guibourtia demeusei*, *Myragina* spp., *Raphia* sp...).

The swamp forests are characterized by species such as *Entandrophragma palustre*, *Uapaca heudelotii*, *Sterculia subviolacea*, *Alstonia congensis*, and species of *Manilkara* and *Garcinia*. Permanently flooded swamp regions host areas of *Raphia* palm, which can occupy significant areas within the ecoregion. Levee forests occur on higher ground and host a high diversity of liana species. Open areas are home to giant ground orchids (*Eulophia porphyroglossa*), and riverbanks are often lined with arrowroot (*Marantochloa* spp).

3.1.5. Mangroves

Forests permanently under the influence of salt water.

Mangroves are forest formations associated with marine alluvium, partially steeped in salt water. Their floristic composition is very specific (*Avicennia*, *Rhizophora*), due to the adaptation of plants to this environment, mainly by the development of pneumatophores. Mangroves are present mainly on the Atlantic coast of Africa. Due to the coarse spatial resolution of the sensor only the major mangrove areas are mapped.

3.1.6. Mosaic Forest / Croplands

A major feature of the Central African forest biome is the presence of ribbons of secondary forest formations along the road network, either old or recent. These formations correspond to a pattern of land management - the former "paysannats", which since colonial times follow the road network. The vegetation found here is formed by a complex of secondary regrowth, fallow, home gardens, food crops and village plantations (Vandenput, 1981).

The upper layer of the secondary formations is continuous and homogenous, and is often characterised by a monospecific composition (*Musanga cecropioides*). This pioneer species, strictly heliophyte, shows a rapid height growth in the clearings (up to 15 m in 3 years). Its large planophilous leaves (25-30 cm of radius) are continuously replaced by young ones. Their water content and photosynthetic activity are permanently high. The delineation of the patterns of secondary forest distribution is important in a regional analysis since these formations are extensive, represent centers of human activities, are a potential site for carbon sequestration and show very different floristic and faunistic characteristics than the surrounding primary forest domain.

3.1.7. Mosaic Forest / Savanna

The forest/savannah mosaic class contains vegetation formations including forest elements and savanna elements. Gallery-forests are tree formations developed along the river banks in the middle of shrub or grass vegetation.

To the North of the Congo basin, the transition between the two main biomes is very abrupt (Peeters, 1964). Gallery-forests cover a large portion of the transition zone (boucle de l'Oubangui, boucle de l'Uélé). To the South, the limit between the dense humid forest and savanna domains is more diffuse, due to the presence of Miombo woodlands.

3.1.8. Closed deciduous woodlands (Dense Miombo)

Tree canopy cover more than 40% and canopy height more than 5 metres

Miombo woodland (or zambezian tropophyllous forest) in Southern DRC, Zambia, Angola, Zimbabwe, Malawi, Tanzania is a particular type of open forest dominated by *Brachystegia*, *Julbernardia* et *Isoberlinia*. The tree layer is characterised by a low density and a diffuse canopy. Miombo woodland is often subjected to fires, which maintain it in a "para-climax". Due to similar spectral characteristics, open forests in C.A.R. and Cameroon (*Isoberlinia doka*, *Monotes kerstingii*) have been included in this class. It is also the case for some coastal mosaics in Mozambique.

3.2. Woodlands and shrublands

3.2.1. Deciduous open woodlands

Tree canopy cover is between 15% and 40% and canopy height more than 5 metres

At the North of the humid forests, sudano-guinean and sudanian domains are covered by large expanses of tree savanna and woodland savanna. In these formations, the herbaceous stratum is continuous, while the tree layer is sparse and very rich in species (*Lophira lanceolata*, *Daniellia oliveri*, *Hymenocardia acida*, *Annona* spp., *Butyrospermum parkii*...). At the South, such formations are separated from the Congolian forests by a grasslands belt.

Floristic composition of the tree layer is totally different to that of the forest.

3.2.2. Deciduous closed / open shrublands with sparse trees

Shrub canopy cover is greater than 15% and canopy height less than 5 metre swith a sparse tree layer covering less than 15%

In the Sudano-sahelian and the Zambezian domains (400-600 mm), a dense shrub layer progressively replaces the tree layer. The shrub dominated by *Acacia* sp., *Combretum* sp., *Commiphora* sp. and other sahelian trees (*Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Tamarindus indica*...). *Hyparrhenia rufa* is dominant in the grass layer.

3.2.3. Deciduous closed / open shrublands

Shrub canopy cover is greater 15% and canopy height less than 5 metres with no tree layer.

In Northern Cameroon and Central African Republic, the tree layer disappears due to a lack of rainfall (200-400 mm). This is the domain of shrub savannas dominated by *Acacia sp.* and other sahelian trees (*Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Tamarindus indica*...).

3.3. Grasslands

3.3.1. Closed grassland

Herbaceous cover greater than 40% .Tree and shrub canopy cover less than 20%.

Vast savannas appear in the forest domain, either as large patches surrounding the forests, or as small islands enclosed within the forest (“savanes incluses”). The trees and shrubs of the savannas located at the periphery of forests are sparse, while grass (*Andropogon spp.*, *Loudetia spp.*...) forms a continuous stratum.

In this ecoclimatic zone, forest is beyond doubt the climax formation. Savannas can find their origin in soil conditions (poorly developed, sandy or lateritic soils) or in past and present human activity (former settlements, fire recurrence). The current soil poverty is also explained by paleoclimatic conditions and inappropriate human practices. When the main agent in their maintenance disappears, savanna gives way to forest (Koechlin, 1961; Caballé and Fontès, 1977; White, 1995). The main enclosed savannas (Lopé, Odzala...) are maintained by repeated burning. Large savannas of the plateaux Batéké (Gabon, Congo-Brazzaville, Congo-Kinshasa) extend on sandy soils developed from decomposed sandstones.

3.3.2. Open grassland with sparse shrubs

Herbaceous cover between 15% and 40% and shrub canopy cover less than 20%.

In dry conditions (<200 mm), shrublands tend to leave the room to open grasslands with a sparse shrub layer. Woody species include *Acacia sp.*, *Balanites aegyptiaca*, *Grewia bicolor*, *Zyziphus sp.*, *Maerua crassifolia*, *Boscia senegalensis*... Grasses are perennial species: *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.*, *Loudetia sp.*

3.3.3. Open grassland

Herbaceous cover between 5% and 15% without shrub canopy

In extreme conditions (50-100 mm rainfall), the shrub layer disappears. It can be depicted from satellite data by a very short vegetation period. Grasses are perennial species: *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.*

3.3.4. Sparse grassland

Herbaceous cover between 1% and 5%

At the fringes of the desert, the herbaceous cover is very sparse (<5%). The inter-annual variability in the vegetation activity reflects the erratic character of rainfall. Grasses are perennial species: *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.* Succulents can also be present.

3.3.5. Swamp shrubland and grassland

The largest swamp grasslands are found in large inner deltas or depressions where water is often standing due to the flat topography, that preclude the subsistence of trees: Nile in Sudan, Okavango in Botswana, Lake Chad, Niger in Mali. Large swamp grasslands also appear in the forest domain: between the Oubangui and Congo rivers, in the Likouala region in Congo-Brazzaville, along the Nyong in Cameroon and in the Upemba region in Katanga. These grasslands are low formations dominated by grasses (*Vossia*, *Echnichloea*...) or by *Cyperus papyrus*.

3.4. Agriculture

The detection of agriculture in Africa from remote sensing data is quite problematic due to farming system and the spatial pattern of croplands. The fields are small and mixed with savannas and fallows, which preclude a reliable mapping at 1 km spatial resolution. On the other hand, the low intensification level of agricultural techniques induces spectral or temporal properties of agriculture close to the surrounding natural vegetation.

3.4.1. Croplands

Areas with over 50% cultures or pastures.

Regions of intensive cultivation and/or sown pasture fall in this class. Two axes are clearly delineated corresponding to the most populated places in Africa: a vertical axis in Eastern Africa, from Rwanda to South Africa and a horizontal axis in the sahelian belt, in drier conditions.

3.4.2. Croplands mixed with open vegetation

Mosaic of agriculture and non-forest vegetation

At the south of the sahelian belt, the croplands are mixed with natural vegetation and represent up to 30 % of the cover.

3.4.3. Irrigated agriculture

Agriculture depending on artificial water supply

The main regions of irrigated agriculture are found in the Nile delta and in the inner delta of Niger (Mali). The irrigated agriculture in the Sahara desert can also be mapped with VEGETATION data.

3.4.4. Tree crops

The orchards at the proximity of the Nile delta were identified as a specific class.

3.5. Bare soil

When rainfall becomes erratic or inexistent, the vegetation covers disappears. The largest dry desert in the world in the Sahara desert (about 12 millions square kilometres). The Kalahari desert and the desert along the Turkana lake were also mapped. Three types could be discriminated from the albedo measurements.

3.5.1. Bare rock

The main rocky desert are found in Tibesti (Chad), Hoggar (Algeria), Air (Niger) et between the Nile and the Red Sea (Egypt).

3.5.2. Stony desert (reg)

Reg and hamada are vast territories arid and stony.

3.5.3. Sandy desert and dunes (erg)

Erg is a urge sandy area where dunes, built by the wind can reach a height of 400 m. The largest area is the Tenere desert at the borders of Niger and Chad.

3.5.4. Salt hardpans

Salt hardpans are dry, saline deserts; water is found only in numerous waterholes surrounding the pan. Only a few macrophytes can grow in these conditions: *Sporobolus salsus*, *Halocnemum strobilaceum* The main harpans are Etosha and Magadikgadi Pans in southern Africa, the Natron Lake (East Africa) and the urge Chotts in Northern Africa.

3.6. Other land-cover classes

3.6.1. Cities

3.6.2. Waterbodies

4. Data Access and update

The map of Africa along with the explicative notes can be requested from the Joint Research Centre, either through the Web pages of the Global Vegetation Monitoring Unit, (<http://www.gvm.ies.jrc.it/>) or by electronic mail to the authors or the GLC 2000 project.

Contact Address

Africa Co-ordinator:	Philippe Mayaux (philippe.mayaux@jrc.it)
GLC 2000 Co-ordinator:	Etienne Bartholomé (etienne.bartholome@jrc.it)
GVM Unit Head	Alan Belward (alan.belward@jrc.it)

5. National statistics

The national statistics of land-cover were computed in 6 aggregated classes from the GLC2000 map: Dense forests(classes 3.1.1. to 3.1.5.), Mosaic forest / croplands (classes 3.1.6. to 3.1.7.), Woodlands / shrublands (classes 3.1.8. to 3.2.3.), Grasslands (classes 3.3.1. to 3.3.4.), Agriculture (3.4.) and bare soil (3.5.) . An area estimate of an aggregation of all the very moist classes (swamp forests, mangroves, swamp grassland and shrublands – 3.1.4., 3.1.5. and 3.3.5) is also provided (Table 5).

Table 5: National land-cover areas (000 ha) derived from the GLC2000 map.

	Dense forest	Mosaic forest / croplands	Woodlands/ shrublands	Grasslands	Agriculture	Bare soil	Wetlands
Burundi	60	32	1,359	54	901	-	1
Cameroon	21,436	7,378	13,480	1,382	3,690	-	467
Central African Republic	8,227	21,395	30,409	93	477	-	90
Chad	1	28	13,857	18,981	17,641	70,242	896
Congo	25,914	1,221	6,000	2,399	227	-	5,164
Dem. Rep. of the Congo	124,566	22,707	69,981	6,309	790	-	8,774
Equatorial Guinea	1,843	312	15	21	-	-	-
Gabon	21,190	1,006	910	609	31	-	150
Rwanda	131	60	705	141	1,250	5	31
Central Africa	203,367	54,140	136,715	29,989	25,008	70,247	15,572
Djibouti	-	-	-	467	7	1,652	39
Ethiopia	2,981	1,817	13,830	43,824	38,068	6,993	79
Eritrea	-	-	28	75	2,096	5,268	40
Kenya	1,548	1,189	5,903	38,663	4,415	41	13
Somalia	42	72	1,320	43,457	1,150	14,028	-
Sudan	365	6,127	49,386	37,980	41,697	130,901	4,014
Uganda	1,096	5,839	7,082	373	6,256	-	69
United Republic of Tanzania	1,173	74	48,715	14,807	22,478	24	253
East Africa	7,205	15,119	126,265	179,646	116,168	158,906	4,468
Algeria	280	-	9,133	17,717	2,466	219,627	16
Egypt	-	-	2	1,535	3,857	94,208	-
Libyan Arab Jamahiriya	1	-	1,059	6,063	376	149,856	1
Morocco	143	-	5,087	14,105	8,592	13,411	2
Tunisia	41	-	2,209	6,325	1,364	7,024	10
Western Sahara	-	-	-	46	-	27,738	-
North Africa	465	-	17,491	45,790	16,655	511,864	30
Angola	5,635	100	90,355	22,174	5,073	3,337	656
Botswana	-	-	15,976	37,881	4,874	764	812
Lesotho	-	-	1,318	1,569	517	-	-
Malawi	92	-	4,690	218	2,536	1	-
Mozambique	2,006	43	56,879	6,656	6,666	19	2,269
Namibia	1	-	3,046	64,971	1,848	15,413	6
South Africa	971	531	36,458	70,151	27,768	518	33
Swaziland	51	44	2,132	-	-	-	-
Zambia	153	-	63,361	4,834	6,534	2	856
Zimbabwe	53	-	27,065	55	11,356	10	-
Southern Africa	8,963	718	301,280	208,510	67,173	20,064	4,631
Benin	31	452	9,706	4	789	-	33
Burkina Faso	-	-	6,034	4,601	13,272	5	-
Côte d'Ivoire	1,124	13,792	12,645	21	217	-	10
Gambia	46	1	234	-	411	-	45
Ghana	1,193	6,525	13,617	2	697	5	17
Guinea	665	6,108	16,152	-	196	-	362
Guinea-Bissau	479	339	2,013	-	96	-	473
Liberia	2,488	6,211	1	-	-	-	6
Mali	1	-	9,835	20,717	18,191	70,631	66
Mauritania	2	-	2	15,942	2,579	84,319	13
Niger	-	-	27	33,542	2,317	80,174	93
Nigeria	3,411	8,736	27,631	11,838	25,802	-	965
Senegal	293	27	4,901	3,022	9,068	83	310
Sierra Leone	603	5,156	928	-	2	-	274
Togo	53	206	4,642	1	253	-	-
West Africa	10,389	47,553	108,367	89,692	73,893	235,217	2,666
Madagascar	5,521	10,387	15,940	26,115	-	-	285
Africa	235,910	127,916	706,057	579,742	298,897	996,298	27,652

6. References

- Achard, F., Eva, H., Stibig, H. J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., and Malingreau, J.P., 2002, Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, **297**: 999-1003.
- Aubréville, A., 1949. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*, Soc. d'Edit. Géog., Marit. et Colon., Paris.
- Boulvert, Y., 1986. *Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1 : 1 000 000*. Editions de l'ORSTOM, Notice Explicative N°104, Paris.
- Bartholomé E. & Cherlet M 2002, GLC 2000 land cover map of the desert locust recession area - first results
- Bartholomé E., Belward A. S., Achard F., Bartalev S., Carmona Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.-M., Mayaux P., Stibig H.-J. 2002, Global Land Cover mapping for the year 2000 - Project status November 2002 (ref EUR 20524)
- Boulvert, Y. (1986) Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1:1 000 000, Notice Explicative No104, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Caballé, G. et Fontès, J., 1977. Formations végétales. Planche A9 (échelle : 1 : 2 000 000). in Atlas du Gabon, Ed. Berger-Levrault, Dir. Raphaele Walter.
- Cabral A., de Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C., 2002, Multitemporal compositing approaches for SPOT4-VEGETATION data, GLC 2000 "first results" workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>
- Cabral A., de Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C. Bartholomé É. and Mayaux P., 2003, Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24: 3343-3350.
- CENADEFOR (1985) *Carte écologique du couvert végétal du Cameroun*, Yaoundé.
- De Grandi, G.F., Mayaux, P., Malingreau, J.-P., Rosenqvist, A., Saatchi, S., and Simard, M., 2000, New Perspectives on Global Ecosystems from Wide-area Radar Mosaics: Flooded Forest Mapping in the Tropics", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21:1235-1249.
- Devred, R., 1958. La végétation forestière du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique*, 65 : 409-468.
- Di Gregorio, A. and Jansen, L., 2000, *Land cover classification system, classification concepts and user manual*, Food and Agriculture Organisation of the United Nations:Rome.
- Doumenge, C., 1990. La Conservation des Eco-Systèmes forestiers du Zaïre, IUCN, Gland, p. 51
- D'Souza, G., Malingreau, J.P., and Eva, H.D., 1995. Tropical forest cover of South and Central America as derived from analyses of NOAA-AVHRR data. TREES Series B: Research Report n°3, EUR 16274 EN, European Commission, Luxembourg, 52p.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.B., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., Davis, E.R., 1997, Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63: 727- 734.
- Evrard, C., 1968. Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la Cuvette Centrale congolaise. ONRD, I.N.E.A.C., 295 p.
- Fontès J. and Guinko S. (1995). Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Toulouse, Institut de la Carte Internationale de la Végétation ; Ouagadougou, Institut du Développement Rural - Faculté des Sciences et Techniques, 67 p.
- Faramala, M.H., (1981) Etude de la végétation de Madagascar à l'aide de données spatiales. PhD Thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.

- Gérard, P., 1960. Etude écologique de la forêt dense à Gilbertiodendron dewevrei dans la région de l'Uele. I.N.E.A.C. série scientifique n°87, 159 pp.
- Hansen M.C., Defries R.S., Townshend J.R.G., Sohlberg R., 2000, Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach *International Journal of Remote Sensing*, **21** 1331-1364.
- Holdridge, L.R., Grenke, W.C., Hatheway, W.H., Liang, T., and J.A. Tosi, 1971, *Forest environment in tropical life zones*, Pergamon Press: Oxford.
- Janodet, E., 1995. *Stratification saisonnière de l'Afrique continentale et cartographie fonctionnelle des écosystèmes forestiers africains*. Final report to the Joint Research Centre, Contract n°10350-94-07 F1ED ISP F, GEOSYS, Toulouse, France.
- Koechlin, J., 1961. *La végétation des savanes dans le sud de la République du Congo*. ORSTOM, Paris.
- Lambin E., and Ehrlich, D., 1995. Combining vegetation indices and surface temperature for land-cover mapping at broad spatial scales. *Int.J.Remote Sensing*,16:573-579.
- Laporte, N., Justice, C., and Kendall, J., 1995. Mapping the dense humid forest of Cameroon and Zaire using AVHRR satellite data. *Int.J.Remote Sensing*, 1- 6:1127-1145.
- Lavenu, F., 1987. *Vegetation Map of Central Africa: Descriptive Memoir and Map prepared for the Department of Forestry Resources FAO*, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Lebrun, J., et Gilbert, G. 1954. *Une classification écologique des forêts du Congo*, I.N.E.A.C. série scientifique n°63, 89 pp.
- Letouzey, R., 1968. *Etude Phytogéographique du Cameroun*, Encyclopédie Biologique LXIX, Lechevalier, Paris, 508 p.
- Malaisse, F. 1978. *The Miombo Ecosystem*. In Unesco/UNEP/FAO, compilers. Tropical Forest Ecosystems. Unesco, Paris, pp. 589-606.
- Malingreau, J.P., and Belward, A., 1994. Recent activities in the European Community for the creation and analysis of global AVHRR data sets. *Int.J.Remote Sensing*,15:3397-3416.
- Malingreau, J.P., De Grandi, G.F.,and Leysen, M., 1995. TREES - ERS-1 study. Significant results over Central and West Africa. *ESA Earth Observation Quarterly* 48, 6-11.
- Mayaux, P., Janodet, E. Blair-Myers, C.M. and P. Legeay-Janvier, 1997, Vegetation Map of Central Africa at 1:5M, TREES Publications Series D1, EUR 17322, Luxembourg: European Commission, 32 pp. + 1 map.
- Mayaux, P., De Grandi, G.F., and Malingreau., J.P., 2000. Central Africa Forest Cover Revisited: a Multi-Satellite Analysis", *Remote Sensing of Environment*, 71:183-196.
- Mayaux, P., De Grandi, G.F., Rauste, Y., Simard, M., and Saatchi, S., 2002. Large Scale Vegetation Maps Derived from the Combined L-band GRFM and C-band CAMP Wide Area Radar Mosaics of Central Africa, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23: 1261-1282.
- Mayaux, P., Gond, V., and Bartholomé, E., 2000, A near-real time forest-cover map of Madagascar derived from Spot-4 VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 16, 3139-3144.
- Mayaux, P, Bartholome, E.M.C.G, Massart, M, Belward, A.S - The Land Cover of Africa for the Year 2000. LUCG Newsletter 8: 4-6
- MPEA (1983). Republic of Liberia planning and development atlas. Ministry of Planning and Economic Affairs, Monrovia, Liberia, 67 pp

- Nelson, R., and Horning, N. (1993) AVHRR-LAC estimates of forest cover area in Madagascar, 1990. *International Journal of Remote Sensing*, 14:1463-1475.
- Olson, J.S. and Watts, J.A. (1982) *Major World Ecosystem Complex Map*. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
- Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanaya E. D. K E , Burgess N. D., Powell G. V. N., Underwood E. C., et al., 2001, Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth, *Bioscience*, 933-938
- Peeters, L. (1964) *Les limites forêt-savane dans le Nord du Congo en relation avec le milieu géographique*. CEMUBAC LXXIV, Bruxelles, 38 p.
- Pekel J.-F. & Defourny, P., 2002 Mapping of the African Great Lakes region from daily VEGETATION data, GLC 2000 "first results" workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>
- Sayer, J.A., Harcourt, C.S. and Collins, N.M., 1992. *The Conservation Atlas of Tropical Forests : Africa*. London, Macmillan
- SPIAF, 1995. Carte Forestière de Synthèse de la République Démocratique du Congo, Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestier, Kinshasa.
- Trochain, J.L., 1957. Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique Tropicale. *Bull. Inst. d'Etudes Centrafricaines Nouvelle série*, Brazzaville, n°13-14, 55-93.
- Trochain, J.L., 1980. *Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique*. Université Paul Sabatier, Toulouse, 468 pp.
- Vancutsem, C., Defourny, P., Bogaert, P., 2002, Processing methodology for full exploitation of daily VEGETATION data, GLC 2000 "first results" workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>
- Vancutsem, C., Bogaert, P., Defourny, P., 2003, Mean compositing strategy as an operational temporal synthesis for high temporal resolution, IJRS in press.
- Vandenput, R., 1981. *Les principales cultures en Afrique Centrale*. Administration Générale de la Coopération au Développement, Bruxelles.
- de Wasseige C., Lissens G., Vancutsem C., Veroustraete F. and Defourny P., 2000, Sensivity analysis of compositing strategies: m and experimental investigations. VEGETATION 2000 conference, Lake Maggiore, 3 April 2000 (Italy, Ispra: Joint Research Centre), pp. 267-274
- White, F (1983) *The vegetation of Africa: a Descriptive Memoir to accompany the UNESCO/AEFTAT/UNSO Vegetation Map of Africa*. Paris, UNESCO.
- White, L., 1995. *Etude de la végétation de la Réserve de la Lopé*. Projet ECOFAC, Rapport final, AGRECO C.T.F.T., Libreville.

List of figures / Liste des figures

<i>Figure 1: SPOT 4 -VEGETATION image of Africa for the year 2000 (composition RGB=SWIR, NIR, R)</i>	<i>ii</i>
<i>Figure 2: Land-cover map of Africa for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data</i>	<i>iii</i>
<i>Figure 3: Spectral behaviour before (red) and after (black) the correction procedure.....</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 4: Comparison of the various algorithms used for the composition for 4 different situations (from Cabral et al, 2003.....</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 5: Comparison of the maximisation of NDVI with the averaging method (West Africa, first decade of November 1999) from Van Cutsem et al., 2002.</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 6: Spatial distribution of the main land-cover classes.</i>	<i>v</i>

<i>Figure 1: Image SPOT 4 -VEGETATION de l'Afrique pour l'an 2000 (composition RVB=MIR, NIR, R).....</i>	<i>ii</i>
<i>Figure 2: Carte de l'occupation du sol de l'Afrique pour l'an 2000 dérivée des données SPOT4 - VEGETATION</i>	<i>iii</i>
<i>Figure 3: Comportement spectral avant (rouge) et après (noir) la procédure de correction.</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 4: Comparaison des différents algorithmes utilisés pour la composition dans 4 différentes situations (d'après Cabral et al, 2003.</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 5: Comparaison entre la composition selon le NDVI maximal et la méthode de la moyenne arithmétique (Africa de l'Ouest ,1-10 Novembre 1999) d'après Van Cutsem et al., 2002.</i>	<i>iv</i>
<i>Figure 6: Distribution spatiale des principales classes d'occupation du sol.</i>	<i>v</i>

Figure 1: SPOT 4 -VEGETATION image of Africa for the year 2000 (composition RGB=SWIR, NIR, R)



Figure 2: Land-cover map of Africa for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data

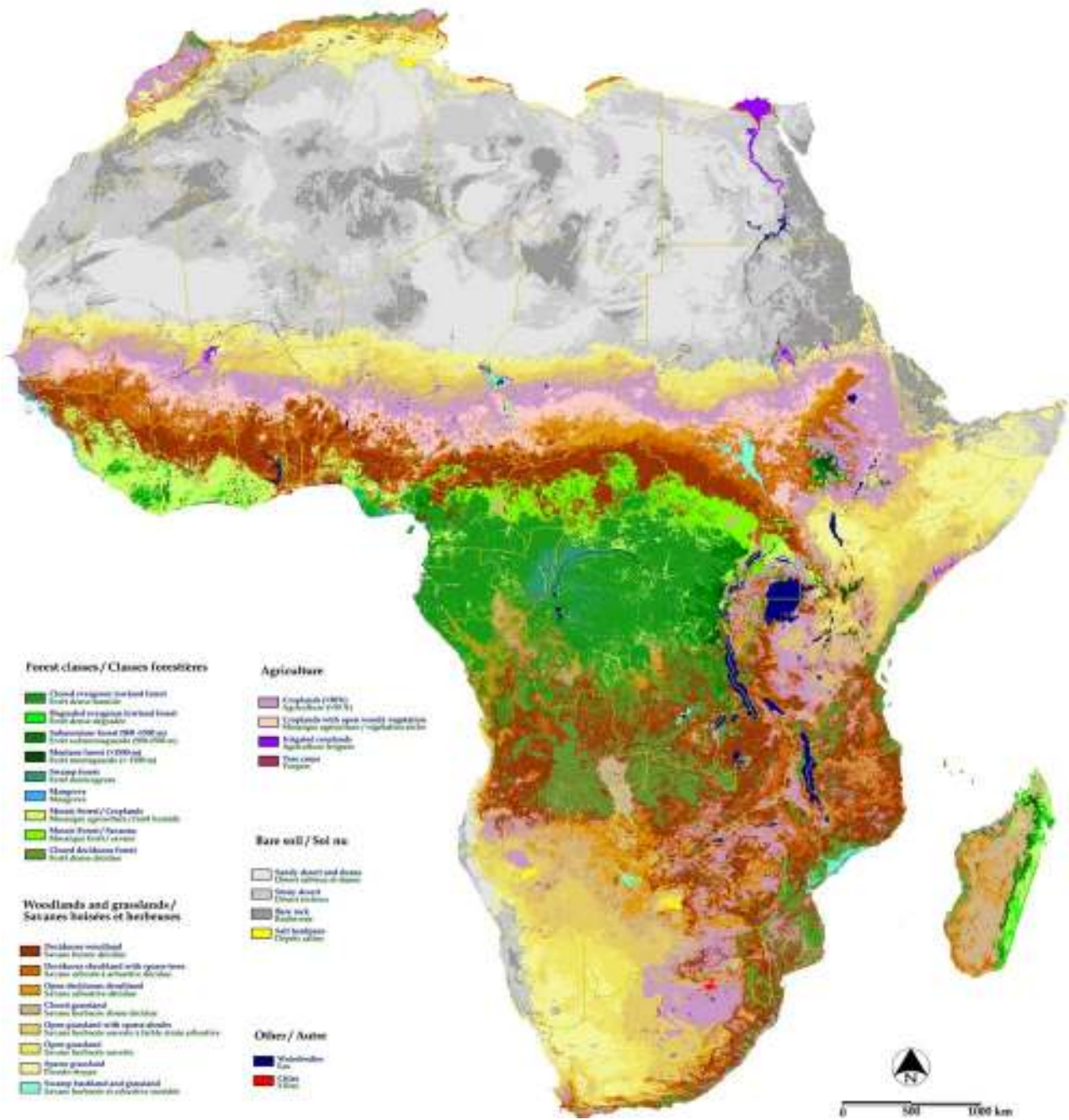


Figure 3: Spectral behaviour before (red) and after (black) the correction procedure

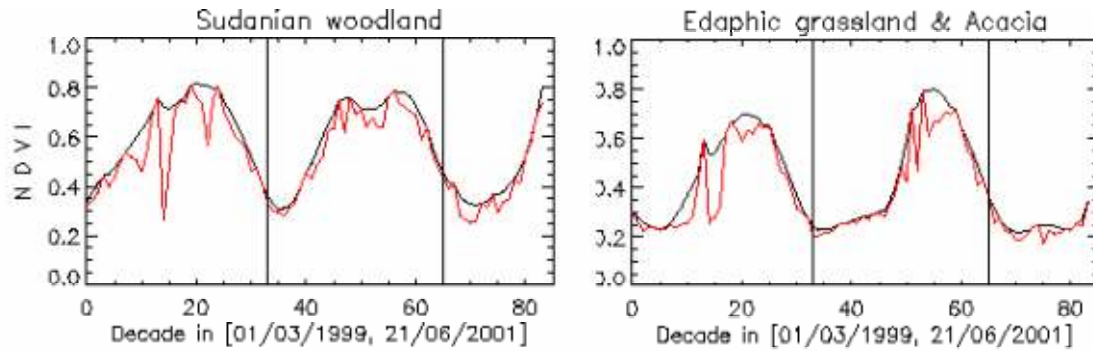


Figure 4: Comparison of the various algorithms used for the composition for 4 different situations (from Cabral et al, 2003).

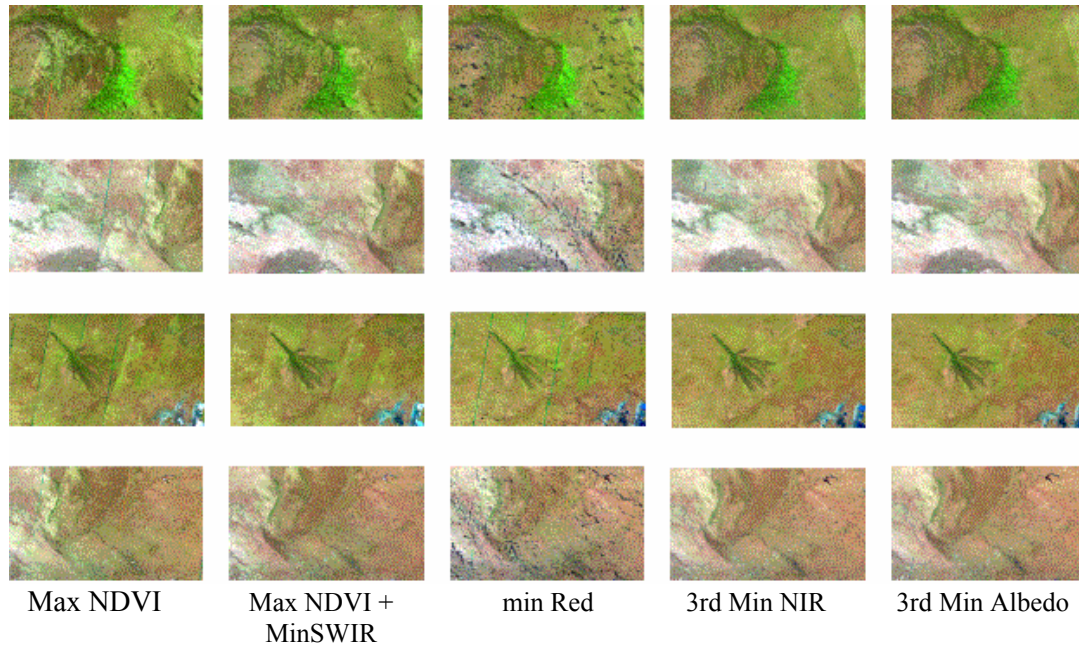


Figure 5: Comparison of the maximisation of NDVI with the averaging method (West Africa, first decade of November 1999) from Van Cutsem et al., 2002.

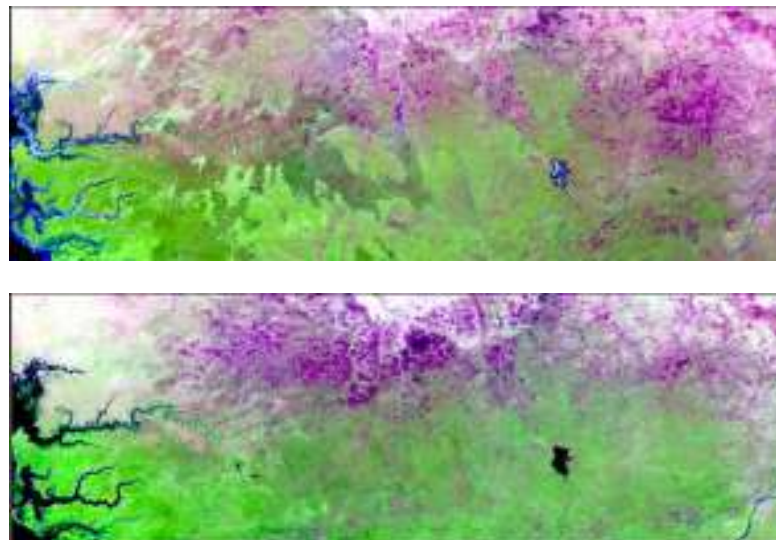
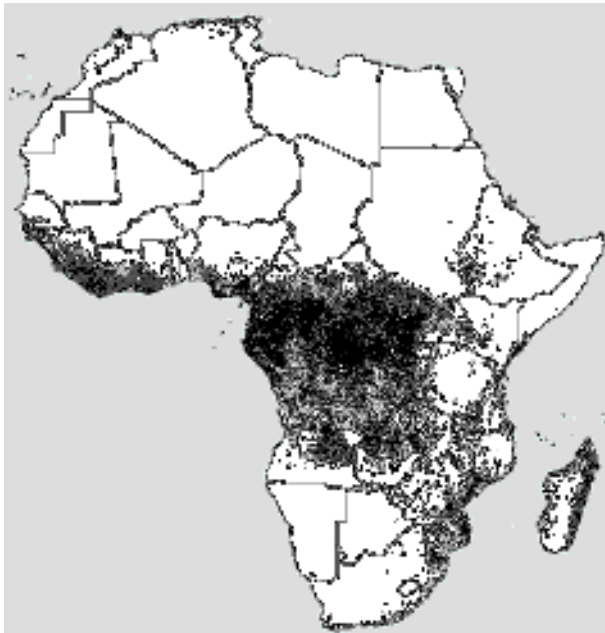
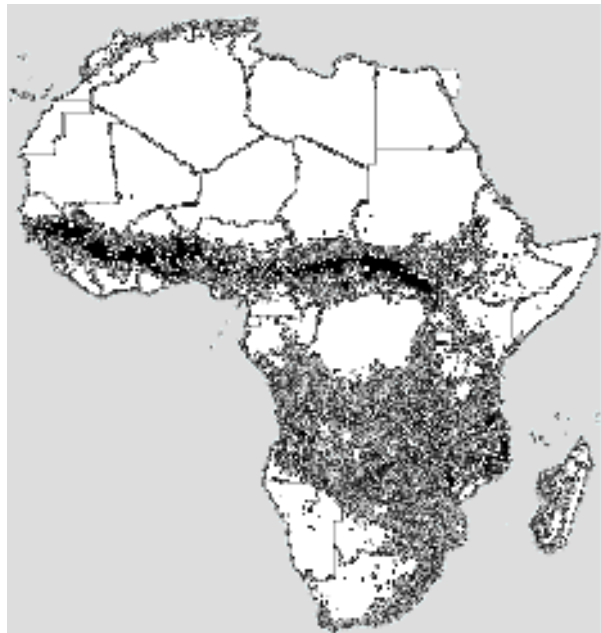


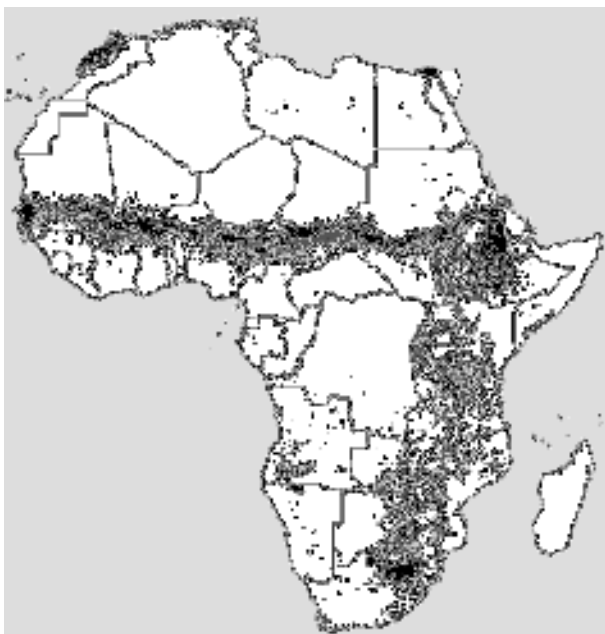
Figure 6: Spatial distribution of the main land-cover classes.



a) forests



b) woodlands and savannahs



c) agriculture



d) swamp forests, wetlands, and irrigation

Carte d'occupation du sol de l'Afrique

Notice explicative

Organisation du projet

<i>Coordination et production de la carte continentale :</i>	P. Mayaux ⁹
<i>Experts Régionaux de la végétation :</i>	P. Mayaux ¹ , E.Bartholomé ¹ , M. Massart ¹ , M. Cherlet ¹⁰ , O. Diallo ¹¹ , A. Nonguierma ¹² , A. Cabral ¹³ , M. de Vasconcelos ⁵
<i>Définition de la légende</i>	A. Di Gregorio ² , C. Van Cutsem ¹⁴ , A. Cabral ⁵ , A. Nonguierma ⁴ , O. Diallo ³ , C. Pretorius ¹⁵
<i>Préparation et interprétation des données SPOT VGT:</i>	P. Mayaux ¹ , E.Bartholomé ¹ , P.Vogt ¹ , C. Van Cutsem ⁶ , A. Cabral ⁵ , J-F. Pekel ⁶
<i>Préparation des données Radar:</i>	G. De Grandi ¹
<i>Préparation des données DMSP:</i>	C.Elvidge ¹⁶
<i>Système d'Information Géographique:</i>	S.Fritz ¹
<i>Présentation Web:</i>	A.Hartley ¹
<i>Coordination générale du projet GLC 2000 :</i>	A.S.Belward ¹ E.Bartholomé ¹

Remerciements

Les auteurs voudraient remercier le soutien financier de la Commission Européenne. Les données VEGETATION utilisées dans le cadre de ce projet ont été fournies par VEGA 2000, une initiative soutenue par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES – France), l'Institut Flamand de Recherche Technologique (VITO - Belgique) et le Centre Commun de Recherche.

⁹Unité de Surveillance Mondiale de la Végétation, Institut pour l'Environnement Durable, Centre Commun de Recherche, Commission Européenne, Ispra, Italie

¹⁰ United Nations' Food and Alimentation Organization (FAO), Rome , Italie

¹¹ Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Sénégal

¹² Centre AGRHYMET, Niamey, Niger

¹³ Tropical Research Institute, Lisbon, Portugal

¹⁴ Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique

¹⁵ CSIR, Pretoria, Afrique du Sud

¹⁶ NOAA-NESDIS National Geophysical Data Center- Boulder-USA

Le Project Global Land Cover 2000

Cette carte fait partie de la cartographie mondiale de l'occupation du sol (GLC 2000) et de la cartographie des surfaces brûlées (GBA 2000) pour l'an 2000 à partir de données SPOT VEGETATION. Ce projet est organisé et conduit par le Centre Commun de Recherche (Unité de Surveillance Mondiale de la Végétation, Institut pour l'Environnement Durable), en partenariat avec de très nombreuses institutions européennes et non-européennes.

Plusieurs cartes régionales ont été produites, et ensuite rassemblées au niveau mondial après un processus d'harmonisation des légendes.

Pour une vue générale du projet, les documents suivants sont disponibles:

E. Bartholomé, A. S. Belward, F. Achard, S. Bartalev, C. Carmona-Moreno, H. Eva, S. Fritz, J-M. Gregoire, P. Mayaux, and H-J. Stibig, 2002, *GLC 2000: Global Land Cover mapping for the year 2000*, EUR 20524 EN, European Commission, Luxembourg.

Grégoire J-M., K. Tansey, and J.M.N. Silva, 2003, The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, in press.

Coordination générale du projet GLC 2000:

Etienne Bartholomé, Alan Belward, Steffen Fritz, CCR Ispra

Coordination générale du projet GBA 2000:

Jean-Marie Grégoire, Kevin Tansey, CCR, Ispra

Coordination des cartes régionales:

Afrique –: Philippe Mayaux, CCR, Ispra

Asie –: Jurgen Stibig, CCR, Ispra

Australie –: Philippe Mayaux, CCR, Ispra

Europe –: Etienne Bartholomé, CCR, Ispra

Eurasie boréale–: Alan Belward, CCR, Ispra

Amérique du Nord et Centrale –: Tom Loveland, US Geological Service et Rasim Latifovic Canadian Center for Remote Sensing

Amérique du Sud –: Hugh D. Eva, CCR, Ispra

H.D. Eva, E.E. de Miranda, C.M. Di Bella, V. Gond, O. Huber et al., 2002, A Vegetation Map of South America, 34 p., EUR 20159 EN, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-894-4449-5.

Table des matières

1. Introduction	1
1.1. <i>Objectifs et présentation de la carte.....</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Cartes précédentes de l'Afrique</i>	<i>1</i>
1.3. <i>Applications de telles cartes.....</i>	<i>1</i>
2. Approche méthodologique.....	2
2.1. <i>Utilisation des données satellites multi-résolution</i>	<i>2</i>
2.1.1. Instrument de VEGETATION	2
2.1.2. Données radar JERS-1 et ERS	3
2.1.3. Données DMSP	3
2.1.4. Utilisation du modèle numérique de terrain	3
2.2. <i>Prétraitement d'image.....</i>	<i>3</i>
2.2.1. Prétraitement des images SPOT VEGETATION.....	3
2.2.2. Géoréférenciation des mosaïques radar	4
2.3. <i>Techniques de classification d'image.....</i>	<i>5</i>
2.3.1. Cartographie des formations végétales à partir des données de SPOT VEGETATION	5
2.3.2. Cartographie des forêts inondées à partir des données radar	5
2.3.3. Cartographie des villes des lumières stables DMSP	5
2.3.4. Utilisation de données auxiliaires.....	6
3. Légende	7
3.1. <i>Forêt.....</i>	<i>8</i>
3.1.1. Forêt sempervirente fermée de plaine	8
3.1.2. Forêt sempervirente montagnarde et sub-montagnarde.....	8
3.1.3. Forêt sempervirente dégradée	9
3.1.4. Forêt sempervirente marécageuse	9
3.1.5. Mangrove	9
3.1.6. Mosaïque Forêt / Agriculture	9
3.1.7. Mosaïque Forêt / Savane	10
3.1.8. Forêt fermée décidue (ou forêt claire de type Miombo).....	10
3.2. <i>Savanes boisée, arborée et arbustive</i>	<i>10</i>
3.2.1. Savane boisée décidue.....	10
3.2.2. Savane arborée à arbustive décidue.....	10
3.2.3. Savane arbustive décidue	10
3.3. <i>Savane herbeuse.....</i>	<i>11</i>
3.3.1. Savane herbeuse fermée	11
3.3.2. Savane herbeuse ouverte avec arbustes épars	11
3.3.3. Savane herbeuse ouverte	11
3.3.4. Savane herbeuse éparse.....	11
3.3.5. Savane herbeuse et arbustive inondée	11
3.4. <i>Agriculture</i>	<i>12</i>
3.4.1. Champs.....	12
3.4.2. Mosaïque cultures / végétation ouverte.....	12
3.4.3. Agriculture irriguée	12

3.4.4.	Plantation d'arbres.....	12
3.5.	<i>Sols nus</i>	12
3.5.1.	Roches nues.....	12
3.5.2.	Désert rocheux (reg).....	12
3.5.3.	Désert sableux et dunes (erg).....	12
3.5.4.	Dépôt salin.....	12
3.6.	<i>Autres occupations du sol</i>	13
3.6.1.	Villes.....	13
3.6.2.	Eau.....	13
4.	Accès et mise à jour de données	13
5.	Statistiques nationales	13
6.	Références	15

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Cartes précédentes de land-cover de l'Afrique</i>	1
<i>Tableau 2: Caractéristiques principales de SPOT-4 VEGETATION</i>	2
<i>Tableau 3: Cartes consultées lors de la production de la carte continentale</i>	4
<i>Tableau 4: Traduction des noms de classes en anglais et français</i>	7
<i>Tableau 5: Surfaces des classes d'occupation du sol par pays (000 ha)</i>	14

1. Introduction

1.1. Objectifs et présentation de la carte

La nécessité de documenter l'état des écosystèmes mondiaux apparaît chaque jour un peu plus. Cela est particulièrement vrai dans les régions tropicales, où le changement d'occupation du sol a pris une ampleur sans précédent au cours des décennies récentes. L'avènement de l'observation de la terre a facilité la cartographie et le suivi de nombreuses régions, jusque là inaccessibles. Cette carte s'inscrit dans la poursuite du travail commencé lors de la production de la première carte TREES (Mayaux *et al.* 1997), qui était concentrée sur les forêts humides de l'Afrique centrale et était basée sur l'image satellitale de 1992. La nouvelle carte est beaucoup plus qu'une mise à jour de cette carte, en ce sens qu'elle présente une plus grande région géographique (toute l'Afrique), à partir des données spatiales plus fiables (SPOT VEGETATION à la place de NOAA-AVHRR), et avec une teneur thématique plus élevée.

La nouvelle carte nous permet de contrôler les grandes évolutions d'occupation du sol qui se sont produites au cours des dix dernières années. Il est un document précieux à la fois duquel pour baser des études plus fines et pour diriger des programmes de recherche, d'aide et de développement. Toutefois, la résolution spatiale de l'image satellite n'est pas appropriée pour détecter de petites ouvertures dans la couverture forestière ou l'exploitation sélective du bois.

1.2. Cartes précédentes de l'Afrique

Plusieurs études cartographiques continentales ont été déjà entreprises : Les premiers ont été basés sur la compilation des cartes nationales et locales enrichies par la consultation de nombreux experts (White, 1983 ; Sayer *et al.*, 1992 ; Olson *et al.*, 2001). À la fin des années 1980 le Programme International Biosphère Géosphère (IGBP) avait exprimé un besoin pour des cartes mondiales d'occupation du sol afin de soutenir la recherche sur le changement global. Loveland *et al.* (1999) ont publié la carte d'occupation du sol IGBP basée sur les données AVHRR de résolution spatiale de 1 km de 1992. Ce produit a été largement utilisé dans la recherche sur le changement global et pour soutenir les travaux d'autres groupes tels que les ONGs de conservation et les programmes d'aide au développement. Toutefois, ces derniers groupes d'utilisateurs ont montré la nécessité de disposer d'un produit aux meilleurs détails spatial et thématique, adapté aux échelles régionales ou continentales.

Tableau 1: Cartes précédentes de land-cover de l'Afrique

Titre	Auteur	Date	Méthodes
Zones biotiques	Holdridge	1971	Stratification bioclimatique
Végétation de l'Afrique	White	1983	Consultation d'experts et compilation d'informations locales
Atlas de conservation des forêts tropicales	Sayer <i>et al.</i>	1992	Compilation des cartes forestières nationales
Caractérisation globale d'occupation du sol	Loveland <i>et al.</i>	1999	Analyse par satellite
Classification globale d'occupation du sol	Hansen <i>et al.</i>	2000	Analyse par satellite
Zones écologiques globales	FAO	2000	Agrégation des cartes régionales
Écosystèmes terrestres (WWF)	Olson <i>et al.</i>	2001	Consultation d'experts et compilation d'informations locales

1.3. Applications de telles cartes

La résolution spatiale de la carte (la résolution de pixel de 1 km²) ne permet pas la détermination précise des changements d'occupation du sol. Pour beaucoup de classes

d'occupation du sol, la fragmentation spatiale conduit à une surestimation ou à une sous-estimation des surfaces. En Afrique, il y a un problème spécifique avec les zones agricoles qui sont mélangées souvent aux savanes naturelles. Néanmoins, pour la majeure partie du continent, cette résolution rend compte de la dimension moyenne des communautés de végétation.

La précision thématique de telles cartes est élevée aux niveaux agrégés. Ainsi, dégrader la classification au niveau des forêts, savanes boisées et des savanes herbeuses aboutit à un précision de la carte plus élevée qu'en maintenant les classes détaillées.

D'autre part, les comparaisons avec les cartes précédentes ne peuvent se faire qu'au niveau qualitatif. Il serait excessivement présomptueux d'essayer de mesurer le changement d'occupation du sol entre la carte actuelle et la carte précédente de TREES. Une approche appropriée pour cet exercice serait d'utiliser les changements perçus entre ces cartes pour une stratification et l'utilisation de données spatiales à plus fine résolution au sein des strates montrant des changements (Achard *et al.*, 2002).

2. Approche méthodologique

2.1. Utilisation des données satellites multi-résolution

Différents types de données de télédétection sont disponibles pour la cartographie de végétation aux échelles continentales, chacune de ces sources ayant sa propre application potentielle. Tandis que les cartes précédentes ont été dérivées des données sources uniques, nous utilisons quatre ensembles d'informations satellitaires pour produire la carte. Chacune des sources de données utilisées, décrites ci-dessous, contribue à cartographier des écosystèmes spécifiques, leur caractère saisonnier ou leur régime hydrique.

2.1.1. Instrument de VEGETATION

L'instrument VEGETATION a été lancé à bord de SPOT-4 en mars 1998. Depuis lors, les données de VEGETATION sont reçues par la station de Kiruna (Suède), traitées et archivées par le Centre de Traitement des Images de VEGETATION (CTIV) à Mol (Belgique) et diffusées par Spot-Image. Les caractéristiques principales du capteur (tableau 1) sont optimisées pour le suivi de la végétation à l'échelle mondiale. Bien que le capteur VEGETATION présente des similitudes avec AVHRR, ils diffèrent par quelques caractéristiques fondamentales. Tout d'abord, l'acquisition est basée sur un système de barrette, ce qui limite l'augmentation de dimension du pixel hors du nadir. En second lieu, la présence d'un canal moyen infrarouge (MIR ou SWIR) permet l'étude de la teneur en eau de la végétation. Enfin, le segment-sol est organisé pour acquérir, traiter et archiver toutes les données quotidiennes sur les surfaces terrestres à la résolution pleine.

Les corrections atmosphériques diminuent l'effet de la vapeur d'eau, de l'ozone et des aérosols en utilisant le modèle SMAC (Rahman et Dedieu, 1994) Le canal bleu devrait améliorer cet aspect plus. La précision géométrique est supérieure à 0,3 pixel pour la déformation locale. Les pixels sont échantillonnés en utilisant une grille uniforme, permettant de corriger la déformation pour l'enregistrement entre canaux, l'orbite satellitale, l'attitude et l'élévation. Davantage de détails sont disponibles dans le guide des utilisateurs de VEGETATION (1999).

Les données VEGETATION ont été fournies par le VITO à la fois dans le mode S1 (mosaïques journalières) et en mode S10 (images composites de dix jours basés sur NDVI maximal) (www.vgt.vito.be). Le prétraitement est décrit dans la section 2.2.1.

Tableau 6: Caractéristiques principales de SPOT-4 VEGETATION

Champ visuel	101°
Zone d'exploration au sol	2250 km
Altitude	830 km
Orbite d'inclinaison	98.72°
Champ visuel instantané	1,15 km au nadir ; 1,3 km 50° au nadir

Localisation absolue	350 m
Superposition géométrique	< 0,5 km
Canal bleu	0,43 – 0,47 μm
Canal rouge	0,61 – 0,68 μm
Canal proche - infrarouge	0,78 – 0,89 μm
Canal moyen - infrarouge	1,58 – 1,75 μm

2.1.2. Données radar JERS-1 et ERS

Le projet global de cartographie des forêts humides (GRFM), un effort international conduit et dirigé par l'agence spatiale Japonaise (Rosenqvist *et al.*2000), a produit des mosaïques satellitaires régionales des écosystèmes tropicaux humides dérivées du capteur SAR de JERS-1 (bande L). Deux mosaïques des forêts tropicales d'Afrique Centrale ont été produites, une coïncidant avec la période d'eau élevée (octobre-novembre 1996) et l'autre coïncidant avec la faible période d'eau (janvier-mars).

Le projet Central Africa Mosaic Project (CAMP) a été lancé en 1994 par la Commission européenne (CE) et de l'Agence Spatiale Européenne (ASE). Environ 700 scènes ERS SAR (radar à ouverture de synthèse) de bande C ont été acquises par les satellites ERS-1 et ERS-2 sur la région Afrique Centrale en 1994 (juillet, août) et en 1996 (janvier, février) dans deux conditions saisonnières différentes.

Une pyramide multi-échelle des produits d'amplitude et de texture a été dérivée à partir des scènes SAR originales (De Grandi *et al.*, 2000). La mesure de texture est dérivée par un estimateur local de l'écart type normalisé de l'amplitude et par un filtre approprié qui réduit la variance d'estimateur dans les secteurs statistiquement stationnaires tout en préservant des discontinuités et des variations pointues. La mesure de texture et le filtre sont décrits dans de Grandi *et al.*(1999).

2.1.3. Données DMSP

Les données du Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) ont une capacité unique de détection des faibles lumières initialement développée pour la détection des nuages illuminés par le clair de lune. Il peut également détecter les établissements humains, les feux de végétation, les sites d'extraction de gaz, les bateaux de pêche, la foudre (Elvidge *et al.*1997). La sonde a deux bandes spectrales (infrarouge visibles et thermique) et une zone d'exploration d'environ 3000 km. Les capacités de détection de faible lumière descendent à 9-10 watts ce qui est nettement inférieur aux bandes comparables d'autres sondes telles que NOAA-AVHRR ou le dispositif de cartographie thématique de Landsat. En contrôlant la fréquence et la stabilité des sources lumineuses, on peut déterminer l'emplacement des établissements humains.

2.1.4. Utilisation du modèle numérique de terrain

Les seuils d'altitude pour les forêts de montagne sont dérivés de la base de données "GTOPO30" de 30 de USGS (USGS 1997, Bliss et Olsen, 1996).

2.2. Prétraitement d'image

2.2.1. Prétraitement des images SPOT VEGETATION

Afin d'exploiter entièrement le signal temporel et la stabilité géométrique remarquable des données de SPOT-VEGETATION, les images ont été traitées de deux façons différentes : le lissage des séries temporelles d'images décennales de NDVI et NDWI et le calcul d'images moyennes mensuelles sur les périodes critiques.

2.2.1.1. Lissage des séries S-10 NDVI et NDWI

Les données NDVI, telles que fournies par SPOT-VEGETATION, sont exposées à une série de variations liées au capteur ou à l'environnement physique, mais non directement liées à l'état de la végétation, ce qui conduit à un profil temporel du NDVI chaotique. Les nuages, par exemple, peuvent persister même sur une période de 10 jours dans certaines régions, et donc diminuer le signal NDVI pour un pixel donné. Cette caractéristique a un impact direct sur les résultats de la classification d'occupation du sol.

Le profil théorique reflétant l'activité de la végétation est donc souvent fortement perturbé par une multitude de facteurs, ce qui requiert une procédure de correction du NDVI. Cette correction est réalisée par interpolation par étape sur une période de 21 décennies avec une fonction polynomiale du 5^{ème} degré afin de prendre en compte le degré élevé de variabilité dans le profil temporel. Des données de 1999 et de 2001 sont utilisées pour calculer l'interpolation au début et la fin de l'année 2000. Ensuite, un nouveau profil est établi en comparant le profil lissé précédemment obtenu au profil de temps original NDVI et en sélectionnant le NDVI le plus haut pour chaque décennie. Ce processus est répété six fois pour assurer un profil lissé avec le NDVI maximal. Une philosophie semblable est appliquée pour corriger le profil de temps NDWI.

2.2.1.2. Calcul des images mensuelles

Afin d'exploiter entièrement le détail spatial des images VEGETATION de SPOT, il est nécessaire de produire des images mensuelles avec les quatre bandes spectrales. Les différents partenaires du projet ont expérimenté différentes méthodes : une basée sur un concept statistique, l'autre sur une approche plus physique.

Dans l'approche physique (Cabral *et al.*, 2003), les images composites mensuelles ont été produites en expérimentant différents critères : maximisation du NDVI, minimisation de la bande rouge, maximisation du NDVI suivie de la minimisation du SWIR, sélection de la troisième valeur la plus basse de NIR, sélection de la troisième valeur la plus basse d'un indice du type albédo. L'analyse visuelle et quantitative indique que la dernière approche produit les images les plus propres. La troisième valeur la plus basse a été sélectionnée afin d'éviter de garder les ombres de nuage (Figure 4).

L'approche statistique est partie d'un double constat : (i) le critère sélectionné favorise souvent des configurations d'angle et des conditions atmosphériques spécifiques – le NDVI maximal sélectionne davantage de pixels de nadir – (ii) seule une petite partie des informations disponibles est utilisée pour l'image résultante (10% dans les images décennales). Cette nouvelle approche (Van Cutsem *et al.*, in press) calcule une image moyenne (le paramètre le plus stable d'une distribution statistique) sur une certaine période prenant en considération toutes les images libres de nuage. Elle exige un bon enregistrement géométrique et un filtre de nuage efficace. Un seuil basé sur le rapport entre le SWIR et le bleu a été développé (Cherlet, 2001). La comparaison avec l'image composée à partir du maximum NDVI est montrée à la figure 5.

2.2.2. Géoréférenciation des mosaïques radar

La mosaïque GRFM de l'Afrique a été traitée en utilisant un algorithme d'ajustement par bloc (Leberl 1990, Mirsky 1990) et une correction géométrique polynomiale avec trois degrés de liberté - la translation en X et Y et la rotation de la scène (De Grandi *et al.*, 2000). Les équations sont basées sur les points de corrélation mesurés entre les scènes adjacentes appartenant à la même date ou entre les scènes à deux dates différentes. La précision de la géolocation a été validée en incluant dans l'ajustement par bloc une source indépendante d'observations. Les données numériques vectorielles des traits de côte (1:250 000) ont été utilisés pour les points de contrôle (GCPs). Les cartes topographiques numériques produites

dans les années 1950 à l'échelle 1:200 000 ont également été utilisées comme points de contrôle dans la partie continentale en République centrafricaine et en République démocratique du Congo.

La mosaïque CAMP a été d'autre part compilée en utilisant comme information de localisation la position nominale de chaque image dans un système de projection rectangulaire. Les coordonnées de chaque image sont dérivées des données orbitales de vaisseau spatial, et sont assez exactes pour réaliser une bonne cohérence interne lorsque combinée avec les points de corrélation dans les superficies de chevauchement de la série de cadres appartenant à la même orbite (De Grandi *et al.*, 1999).

La propagation d'erreur dans la localisation de la mosaïque CAMP et dans la conversion entre les deux systèmes de projection rend difficile de superposer directement les deux mosaïques. La mosaïque GRFM a été donc pris comme système de référence et la mosaïque ERS rectifiée par rapport à la mosaïque de référence. La procédure de rectification utilise la déformation polynomiale et un ensemble de points de corrélation mesurés automatiquement entre chaque cadre de ERS de CAMP et le sous-ensemble correspondant dans la mosaïque GRFM.

2.3. Techniques de classification d'image

La difficulté de classifier les données de façon fiable et cohérente sur toute l'Afrique peut être expliquée par les faits suivants :

- Les classes d'occupation du sol recouvrent un très grand nombre d'écosystèmes depuis les déserts arides jusqu'aux forêts tropicales humides;
- Le caractère saisonnier des paysages est très variable selon la période, le nombre et la durée des flux de végétation ;
- En Afrique Centrale, la nébulosité est presque permanente.

2.3.1. Cartographie des formations végétales à partir des données de SPOT VEGETATION

De la même manière que différentes techniques de composition ont été expérimentées, différentes méthodes de classification ont été également utilisées.

Un algorithme de classification non supervisé (ISODATA) a été utilisé pour produire 100 classes spectrales des mosaïques de VEGETATION (à partir des profils NDVI et des images moyennes). Les 100 classes sont alors nommées par interprétation visuelle assistée par la consultation des cartes thématiques et des statistiques spectrales de classe.

Sur les secteurs arides, des seuils rigides sur la végétation maximale couvrent, la durée et le temps de la période de végétation et de la période ont défini les différentes classes de terre-couverture (Bartholomé *et al.*, 2002).

2.3.2. Cartographie des forêts inondées à partir des données radar

La procédure de classification est basée sur des règles hiérarchiques rigides appliquées au vecteur des données d'amplitude et de texture ERS et JERS (4 canaux). Les règles de classification sont définies par inférence d'une série de formations végétales dans différentes régions de la Cuvette centrale du Congo (Mayaux *et al.*, 2002). Les formations ont été sélectionnées par inspection visuelle en utilisant les cartes nationales telles que la carte forestière du Congo produite par le Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestiers (SPIAF 1995) ou les cartes locales, telles que les cartes de territoire INEAC (Evrard 1960). Les différents arrangements spatiaux (linéaires, massifs) sont pris en considération dans la procédure de sélection de sites.

2.3.3. Cartographie des villes des lumières stables DMSP

Les données DMSP tendent à surestimer l'extension urbaine en raison de la dispersion de la lumière. Elles ont donc été utilisées comme aire d'entraînement pour détecter la présence de grands secteurs urbains dans le jeu de données de SPOT VEGETATION (voir 2.1.4). Tous les pixels VEGETATION correspondant à la permanence de lumières détectées par DMSP

classées utilisant ISODATA dans dix classes statistiques. L'interprétation permet de conserver les classes relatives aux secteurs urbains. Il faut toutefois noter que le niveau de développement économique influence largement les émissions lumineuses, ce qui doit être pris en compte pour les seuils applicables par région.

2.3.4. Utilisation de données auxiliaires

Les cartes existantes (continentales, nationales ou régionales) de couvert forestier et d'occupation du sol ont été collectées dans la littérature et rassemblées pour faciliter la caractérisation des classes spectrales.

Tableau 3 : Cartes consultées lors de la production de la carte continentale.

Région	Auteur de la carte (institution), date
Continental	White (UNESCO), 1983
Continental	Olson et al (World Wildlife Fund), 2001
Continental	Lavenu (FAO), 1987
Maghreb	CORINE Land Cover (European Commission), 1990
Angola	Carta Da Vegetacao Do Cuando Cubango
Bénin	Carte écologique du couvert végétal du Bénin (FAO), 1979
Burkina Faso	Fontès and Guinko, 1995
Burundi	AFRICOVER (FAO), 2002
Cameroun	Letouzey, 1968/ CENADEFOR, 1985
RCA	Boulvert (ORSTOM), 1986
Tchad	Carte Internationale Du Tapis Végétal (ORSTOM), 1968
Congo	Laudet, 1967
R. D. Congo	SPIAF, 1995
Egypte	AFRICOVER (FAO), 2002
Guinée Equatoriale	CUREF, 2001
Erythrée	AFRICOVER (FAO), 2002
Ethiopie	AFRICOVER (FAO), 2002
Gabon	Caballé et Fontès, 1977
Ghana	Land Cover and Land Use Database, 1998
Kenya	Delsol (ICIV / CNRS), 1995 / AFRICOVER, 2002
Lesotho	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Liberia	MPAE, 1979
Madagascar	Faramala, 1981
Mali	Projet Inventaire des Ressources Ligneuses (PIRL), 1985-1991
Rwanda	AFRICOVER (FAO), 2002
Sénégal	U S Geological Survey, 1985
Afrique du Sud	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Soudan	AFRICOVER (FAO), 2002
Swaziland	National Land Cover Database (CSIR), 1999
Tanzanie	AFRICOVER (FAO), 2002

Région	Auteur de la carte (institution), date
Ouganda	AFRICOVER (FAO), 2002
Zimbabwe	Woody cover map (Forestry Commission & GTZ), 1997

3. Légende

Le système de classification pour la légende est basé sur les catégories structurelles de végétation (Eiten 1968). Ainsi, dans le premier niveau les classes sont définies comme :

- Forests
- Forêts
- Savanes boisée et arbustive
- Savane herbeuse
- Agriculture
- Sol nu
- Autres occupations du sol

Dans un second temps, nous introduisons le pourcentage de couverture végétale (ouvert/fermé), la saisonnalité, le régime d'inondation, le climat et l'altitude. Ces deux derniers paramètres, altitude et climat, sont introduits pour des raisons écologiques – une séparation entre la végétation tropicale et la végétation tempérée d'une part, entre les formations planitiaires et montagnardes d'autre part. Les détails des définitions de classe sont fournis au tableau 3.

Dans la perspective du projet GLC 2000 (Bartholomé *et al.* 2002), une légende commune a été proposée afin de répondre aux exigences de la cartographie mondiale, tout en restant thématiquement détaillée au niveau local. La légende globale est basée sur le Système de Classification d'Occupation du Sol LCCS de la FAO (Di Gregorio et Jansen, 2000). La légende de carte a été préparée en anglais et français (tableau 4).

Tableau 4: Traduction des noms de classes en anglais et français

Nom anglais	Nom français
<i>Forests</i>	<i>Forêts</i>
Closed evergreen lowland forest Degraded evergreen lowland forest Montane evergreen forest (> 1500 m) Sub-montane forest (>900 m) Swamp forest Mangrove Mosaic Forest / Croplands Mosaic Forest / Savanna Closed deciduous forest (Miombo)	Forêt dense humide Forêt dense dégradée Forêt de montagne (>1500 m) Forêt sub-montagnarde (>900 m) Forêt marécageuse Mangrove Mosaïque agriculture / forêt humide Mosaïque forêt / savane Forêt décidue dense (Miombo)
<i>Woodlands, shrublands and grasslands</i>	<i>Savanes</i>
Deciduous woodland Deciduous shrubland with sparse trees Open deciduous shrubland Closed grassland Open grassland with sparse shrubs Open grassland Sparse grassland Swamp bushland and grassland	Savane boisée décidue Savane arborée à arbustive décidue Savane arbustive décidue Savane herbacée dense Savane herbacée ouverte à faible strate arbustive Savane herbacée ouverte Pseudo-steppe Savane herbacée et arbustive inondée

<i>Agriculture</i>	<i>Agriculture</i>
Croplands (>50%) Croplands with open woody vegetation Irrigated croplands Tree crops	Agriculture (>50 %) Mosaïque agriculture / végétation sèche Agriculture irriguée Vergers
<i>Bare soil</i>	<i>Autres occupations du sol</i>
Bare rock Stony desert Sandy desert and dunes Salt hardpans	Roche nue Désert rocheux Désert sableux et dunes Dépôts salins
<i>Other land-cover classes</i>	<i>Autres occupations du sol</i>
Waterbodies Cities	Eau Villes

3.1. Forêt

Dans ces formations, l'élément dominant est la strate arborée, par définition de hauteur supérieure à 5 mètres.

3.1.1. Forêt sempervirente fermée de plaine

Forêt de plaine jusqu'à 900 mètres d'altitude avec la couvert forestier supérieur à 70%.

Deux régions principales sont couvertes par les forêts sempervirentes de plaine : l'Afrique centrale et dans une moindre mesure l'Afrique de l'Ouest.

L'écosystème climax dans la partie centrale du bassin du Congo est **la forêt sempervirente fermée**. La strate supérieure (35-45 m) de cette formation se compose de peu d'espèces sempervirentes tolérantes (*Gilbertiodendron dewevrei*, *Julbernardia seretii*, *Brachystegia laurentii*...), bien distribué en âge. La densité élevée de la canopée exclut le développement des strates arbustive et herbeuse et favorise les épiphytes. Le gradient thermique dans la canopée est très marqué, tandis que l'humidité atmosphérique est de manière permanente élevée. La forêt sempervirente fermée ne montre aucun comportement saisonnier notable.

Aux lisières de la "cuvette" centrale et en Afrique de l'ouest, **la forêt semi-caducifoliée fermée** devient la formation climacique. Elle contient certaines espèces à feuilles caduques dans la strate supérieure (jusqu'à 70 %) mélangées aux espèces sempervirentes. En termes de composition floristique, la forêt semi-caducifoliée est plus riche que la forêt sempervirente. La répartition en âge de la couche supérieure est irrégulière et la canopée, observée du ciel, semble très ondulée. La faible densité de la canopée permet le développement d'une strate continue d'arbustes ; les gradients thermique et hygrométrique sont moins marqués que dans le type précédent, tandis que le caractère saisonnier est plus marqué dans les conditions plus sèches. La plupart des espèces commerciales se trouvent dans la forêt semi-caducifoliée (*Meliaceae*, *Tryplochiton scleroxylon*, *Chlorophora excelsa*...).

3.1.2. Forêt sempervirente montagnarde et sub-montagnarde

Forêt d'altitude supérieure à 1500m (montagnarde) ou 900 m (sub-montagnarde)

Au-dessus d'une altitude de 900 m, la composition floristique et le profil structurel tendent à se modifier. Cette tendance s'accroît au-delà de 1500m. Les arbres sont plus petits, leur nombre est plus élevé, avec une composition spécifique moins diverse et un volume total réduit. Les régions principales des forêts montagnardes ou sub-montagnardes se trouvent dans le Rift Albertin, en Afrique de l'Est, en Éthiopie, en Afrique centrale côtière (Mont Cameroun et Guinée équatoriale insulaire) et à Madagascar. Certains auteurs ont mentionné différents seuils d'altitude en fonction des différentes régions, mais pour les raisons de cohérence, nous avons décidé d'appliquer les mêmes seuils pour tout le continent.

3.1.3. Forêt sempervirente dégradée

Forêt de plaine jusqu'à 900 mètres d'altitude avec la couvert forestier entre 40 et 70%.

Dans certaines régions de l'Afrique de l'Ouest et de Madagascar, la couverture forestière est fortement perturbée par les activités humaines : exploitation forestière, culture itinérante, jachères.

3.1.4. Forêt sempervirente marécageuse

Forêt sous l'influence de l'eau douce de manière permanente ou périodiquement.

La forêt marécageuse de la cuvette du Congo contient les plus grandes surfaces de forêt marécageuse de la planète. Bien que pour ne pas être connues pour être particulièrement riches en nombre d'espèces endémiques, ces forêts sont en grande partie intactes. La fréquence d'inondation et les conditions de drainage du sol déterminent la structure de végétation et sa composition spécifiques et produisent plusieurs types forestiers : forêts ripicoles, forêts périodiquement inondées, forêts marécageuses. La strate supérieure (jusqu'à 45 m dans les meilleures conditions) est plus ouverte et hétérogène que dans les autres types. En raison de la densité du réseau hydrographique, les forêts édaphiques couvrent de vastes étendues dans le centre du bassin du Congo, laissant la place à la forêt équatoriale ombrophile sur les interfluves. La composition endémique est diversifiée quoique relativement pauvre (*Uapaca sp.*, *Guibourtia demeusei*, *Myragina sp.*, *Raphia sp.*...).

Les forêts de marais sont caractérisées par les espèces telles que *Entandrophragma palustre*, *Uapaca heudelotii*, *Sterculia subviolacea*, *Alstonia congensis*, et les espèces de *Manilkara* et *Garcinia*. Les régions inondés de manière permanente accueillent de vastes massifs de palmier *Raphia*. Les forêts de banquette accueillent une diversité élevée des espèces de lianes. Les secteurs ouverts contiennent des orchidées géantes (*Eulophia porphyroglossa*), et les banquettes alluviales sont souvent couvertes par des Marantacées (*Marantochloa sp.*).

3.1.5. Mangrove

Forêt sous l'influence permanente de l'eau salée.

Les mangroves sont des formations forestières liées aux alluvions marines, partiellement trempées en eau salée. Leur composition floristique est très spécifique (palétuviers ou *Avicennia*, *Rhizophora*), en raison de l'adaptation de ces espèces à cet environnement, principalement par le développement de pneumatophores. En raison de la résolution spatiale grossière du capteur, seuls les principaux secteurs de mangroves sont identifiés, notamment sur la côte atlantique de l'Afrique.

3.1.6. Mosaïque Forêt / Agriculture

Une caractéristique importante du biome forestier d'Afrique Centrale est la présence de rubans des formations forestières secondaires le long du réseau routier, vieux ou récent. Ces formations correspondent à un modèle de gestion de terre - les premiers "paysannats", qui depuis les époques coloniales suivent le réseau routier. La végétation trouvée ici est constituée par un complexe de recrû secondaire, de jachère, des jardins de maison, des cultures vivrières et des plantations de village (Vandenput, 1981).

La strate supérieure des formations secondaires est continue et homogène, et est caractérisée souvent par une composition mono-spécifique (*Musanga cecropioides*). Cette espèce de pionnier, strictement héliophile, montre une croissance en hauteur rapide dans les trouées de lumière (jusqu'à 15 m en 3 ans). Ses grandes feuilles planophiles (25-30 cm de rayon) sont remplacées sans cesse par des jeunes. Leur teneur en eau et leur activité photosynthétique sont de cette manière en permanence élevées.

En Afrique de l'Ouest, ce complexe rural couvre de très larges étendues, là où l'activité humaine a converti les forêts humides originelles, principalement depuis les années 70.

La cartographie des formations forestière secondaires est importante dans une analyse régionale puisque ces formations sont étendues, représentent des centres des activités humaines, sont un site potentiel pour la séquestration de carbone et montrent des caractéristiques floristiques et

faunistiques très différentes du domaine forestier primaire environnant.

3.1.7. Mosaïque Forêt / Savane

La classe mosaïque Forêt / Savane contient des formations de végétation comprenant les éléments forestiers et les éléments de la savane. Les forêts-galerie sont des formations développées le long des rivières au milieu de la végétation arbustive ou herbeuse.

Au nord du bassin du Congo, la transition entre les deux biomes principaux est très brusque (Peeters, 1964). Les forêts-galerie couvrent une grande portion de la zone de transition (boucle de l'Oubangui, boucle de l'Uélé). Au sud, la limite entre les domaines humides denses de forêt et de la savane est plus diffuse, en raison de la présence de forêts claires de type Miombo.

3.1.8. Forêt fermée décidue (ou forêt claire de type Miombo)

Formation décidue avec un couvert arboré supérieur à 40% (canopée supérieure à 5 m)

Les forêts de Miombo (ou forêt tropophylle zambézienne) dans le sud de la RDC, Zambie, Angola, Zimbabwe, Malawi, Tanzanie sont un type particulier de forêt ouverte dominé par *Brachystegia*, *Julbernardia* et *Isoberlinia*. La strate arborée est caractérisée par une faible densité et une canopée diffuse. Les forêts de Miombo sont soumises souvent aux feux, qui la maintiennent dans un "para-climax". En raison de ses caractéristiques spectrales semblables, certaines mosaïques côtières au Mozambique et des importantes forêts denses sèches de la côte occidentale de Madagascar ont été intégrées dans cette classe.

3.2. Savanes boisée, arborée et arbustive

Dans ces formations, la composante principale est la strate arbustive (entre 1 et 5 m de hauteur). Des poches agricoles de petite taille peuvent y persister, mais la résolution spatiale du capteur ne permet pas de les identifier de manière précise.

3.2.1. Savane boisée décidue

Formation décidue avec un couvert arbustif supérieur à 40% et un couvert arboré entre 15% et de 40%

Au nord des forêts humides, les domaines soudano-guinéen et soudanien sont couverts par les grandes étendues de savane boisée et de savane arborée. Dans ces formations, la strate herbacée est continue, tandis que la strate arborée est éparse et très riche en espèces (*Lophira lanceolata*, *Daniellia oliveri*, *Hymenocardia acida*, *Annona sp.*, *Butyrospermum parkii...*). Au sud, ces formations sont séparées des forêts guinéo-congolaises par une ceinture de prairies.

La composition floristique de la couche d'arbre est totalement différente à celle de la forêt.

3.2.2. Savane arborée à arbustive décidue

Formation décidue avec un couvert arbustif supérieur à 15% et un couvert arboré entre 5 et 15%

Dans les domaines sudano-sahélien et zambézien (400-600 mm), une strate arbustive dense remplace progressivement la strate arborée. Les arbustes dominants sont *Acacia sp.*, *Combretum sp.*, *Commiphora* et d'autres arbres sahéliens (*Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica...*). *Hyparrhenia rufa* est dominant dans la strate herbeuse.

3.2.3. Savane arbustive décidue

Formation décidue avec un couvert arbustif supérieur à 15% et un couvert arboré absent

En conditions plus défavorables (précipitation de 200 à 400 mm), la strate arborée disparaît. C'est le domaine des savanes d'arbustives dominées par *Acacia sp.* et d'autres arbustes sahéliens (*Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis...*).

3.3. Savane herbeuse

Dans ces formations, la composante principale est la strate herbeuse (entre 0,03 et 3 m de hauteur).

3.3.1. Savane herbeuse fermée

Couverture herbacée supérieure à 40%. et couverture arbustive inférieure à 20%.

Les vastes savanes apparaissent dans le domaine forestier, sous forme de grands massifs circumforestiers ou comme des petites îles dans la forêt ("savanes incluses"). Les arbres et les arbustes des savanes situés à la périphérie des forêts sont épars, tandis que l'herbe (*Andropogon sp.*, *Loudetia sp.* ...) forme une strate continue.

Dans cette zone éco-climatique, la forêt est sans aucun doute la formation-climax. Les savanes peuvent trouver leur origine dans les conditions édaphiques (sols mal développés, sablonneux ou latéritiques) ou dans l'activité humaine passée et présente (anciens établissements humains, récurrence des feux). La pauvreté actuelle des sols est également expliquée par les conditions paléoclimatiques et les pratiques humaines inadéquates. Quand l'agent principal dans leur maintenance disparaît, la savane mène à la forêt (Koechlin, 1961 ; Caballé et Fontès, 1977 ; White, 1995). Les principales savanes incluses (Lopé, Odzala...) sont maintenues par la combustion répétée. Les grandes savanes des plateaux Batéké (Gabon, Congo-Brazzaville, Congo-Kinshasa) s'étendent sur les sols sablonneux développés à partir des grès décomposés (communément appelés les sables du Kalahari).

3.3.2. Savane herbeuse ouverte avec arbustes épars

Couverture herbacée entre 15% et 40% et couverture arbustive de moins de 20%.

Dans les conditions sèches (< 200 mm), les savanes arbustives ont tendance à laisser la place à des savanes herbeuses avec une couche éparsée d'arbustes. Les espèces boisées comprennent *Acacia sp.*, *Balanites aegyptiaca*, *Grewia bicolor*, *Zyziphus sp.*, *Maerua crassifolia*, *Boscia senegalensis*... Les herbes sont des espèces pérennes : *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.*, *Loudetia sp.*

3.3.3. Savane herbeuse ouverte

Couverture herbacée entre 5% et 15% sans strate arbustive

Dans les conditions extrêmes (50-100 mm de précipitation), la strate arbustive disparaît. Elle peut être décelée à partir des données satellite à cause d'une période de végétation très courte. Les herbes sont des espèces pérennes : *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.*

3.3.4. Savane herbeuse éparsée

Couverture herbacée entre 1% et 5%

Aux confins du désert, la couverture herbacée est très éparsée (< 5%). La variabilité interannuelle dans l'activité de végétation reflète le caractère irrégulier de la précipitation. Les herbes sont des espèces pérennes : *Stipagrostis sp.*, *Monsonia ignorata*, *Eragrostis sp.*, *Aristida sp.* Des espèces succulentes peuvent également être présentes.

3.3.5. Savane herbeuse et arbustive inondée

Les plus grandes prairies marécageuses se retrouvent dans les deltas internes ou les dépressions où l'eau stagne souvent en raison de la topographie, ce qui exclut la présence des arbres : le Nil au Soudan, l'Okavango au Botswana, le lac Tchad, le Niger au Mali. Les grandes prairies de marais apparaissent également dans le domaine forestier : entre l'Oubangui et les Fleuves Congo, dans la région Likouala aux herbes au Congo-Brazzaville, le long du Nyong au Cameroun et dans la région de l'Upemba au Katanga. Ces prairies flottantes sont des formations basses dominées par les herbes (*Vossia*, *Echnichloea*...) ou par *Cyperus papyrus*.

3.4. Agriculture

La détection de l'agriculture en Afrique des données de télédétection est tout à fait problématique en raison du système d'exploitation agricole et de l'agencement spatial des champs. Les parcelles sont petites et mélangées aux savanes et jachères, ce qui empêche une cartographie fiable à la résolution spatiale de 1 km. D'autre part, le faible niveau d'intensification des techniques agricoles induit des propriétés spectrales ou temporelles de l'agriculture proches de celles de la végétation naturelle environnante.

3.4.1. Champs

Cultures ou pâturages couvrant plus de 50%.

Les régions de culture intensive. Deux axes sont clairement tracés en correspondant aux places les plus peuplées en Afrique : un axe du Sénégal à l'Éthiopie et un axe en Afrique de l'Est du Rwanda en Afrique du Sud.

3.4.2. Mosaïque cultures / végétation ouverte

Mosaïque d'agriculture et de végétation non-forestière

Au sud de la ceinture sahélienne, les cultures sont mélangées à la végétation naturelle et représentent jusqu'à 30% de la couverture au sol.

3.4.3. Agriculture irriguée

Agriculture selon l'approvisionnement en eau artificiel

Les régions principales de l'agriculture irriguée sont trouvées dans le delta du Nil et dans le delta interne du Niger (Mali). L'agriculture irriguée dans le désert du Sahara peut être également tracée avec les données VEGETATION.

3.4.4. Plantation d'arbres

Les vergers à la proximité du delta du Nil ont été identifiés comme une classe spécifique.

3.5. Sols nus

Quand la pluviométrie devient irrégulière ou plus faible, le couvert végétal disparaît. Le plus grand désert sec dans le monde se situe dans le désert du Sahara et couvre une surface d'environ 12 millions de kilomètres carrés. Le désert de Kalahari a été également identifié. Trois types de désert ont pu être discriminés en fonction de leur albédo de surface.

3.5.1. Roches nues

Les principales zones de roches nues se retrouvent dans le Tibesti (Tchad), le Hoggar (Algérie), dans l'Air (Niger) et entre le Nil et la Mer Rouge (Égypte).

3.5.2. Désert rocheux (reg)

Le Reg, tout comme la hamada, est une vaste étendue pierreuse et aride.

3.5.3. Désert sableux et dunes (erg)

L'Erg est une vaste étendue de sable où les dunes, sculptées par le vent, peuvent atteindre une altitude de 400m. La plus large surface sableuse est le désert du Ténéré aux confins du Niger et du Tchad.

3.5.4. Dépôt salin

Les dépôts salins sont des déserts secs et salins ; l'eau se trouve uniquement dans de nombreux trous d'eau entourant la cuvette. Seules quelques macrophytes peuvent se développer dans ces conditions : *Le Sporobolus salsus de, Halocnemum strobilaceum*. Les harpans principaux sont les cuvettes Etosha et Magadikgadi en Afrique australe, le lac Natron (Afrique de l'Est) de

larges Chotts en Afrique du nord.

3.6. Autres occupations du sol

3.6.1. Villes

3.6.2. Eau

4. Accès et mise à jour de données

La carte de l'Afrique et les notes explicatives peuvent être demandées au Centre Commun de Recherche, sur les pages Web de l'unité GVM, (<http://www.gvm.ies.jrc.it/>) ou par courrier électronique aux auteurs.

Adresses de contact

Coordinateur de l'Afrique :	Philippe Mayaux (philippe.mayaux@jrc.it)
Coordinateur de GLC 2000 :	Etienne Bartholomé (etienne.bartholome@jrc.it)
Chef d'unité GVM	Alan Belward (alan.belward@jrc.it)

5. Statistiques nationales

Les surfaces des principales classes d'occupation du sol ont été calculées par pays : Forêts denses (classes 3.1.1. à 3.1.5.), Mosaïque forêt / agriculture (classes 3.1.6. et 3.1.7.), Savanes boisées et arbustives (classes 3.1.8. à 3.2.3.), Savanes herbeuses (classes 3.3.1. à 3.3.4.), Agriculture (3.4.) et Sol nu (3.5.) . Une estimation des surfaces très humides est également donnée (forêts marécageuses, mangroves, prairies flottantes – 3.1.4., 3.1.5. et 3.3.5) (Table 5).

Table 5: Surfaces des classes d'occupation du sol par pays (000 ha)

	Forêts denses	Mosaïque forêt / agriculture	Savanes boisées et arbustives	Savanes herbeuses	Agriculture	Sol nu	Zones humides
Burundi	60	32	1,359	54	901	-	1
Cameroun	21,436	7,378	13,480	1,382	3,690	-	467
R.C.A.	8,227	21,395	30,409	93	477	-	90
Tchad	1	28	13,857	18,981	17,641	70,242	896
Congo	25,914	1,221	6,000	2,399	227	-	5,164
Rep. Dem. Congo	124,566	22,707	69,981	6,309	790	-	8,774
Guinée Equatoriale	1,843	312	15	21	-	-	-
Gabon	21,190	1,006	910	609	31	-	150
Rwanda	131	60	705	141	1,250	5	31
Afrique Centrale	203,367	54,140	136,715	29,989	25,008	70,247	15,572
Djibouti	-	-	-	467	7	1,652	39
Ethiopie	2,981	1,817	13,830	43,824	38,068	6,993	79
Erythrée	-	-	28	75	2,096	5,268	40
Kenya	1,548	1,189	5,903	38,663	4,415	41	13
Somalie	42	72	1,320	43,457	1,150	14,028	-
Soudan	365	6,127	49,386	37,980	41,697	130,901	4,014
Ouganda	1,096	5,839	7,082	373	6,256	-	69
Tanzanie	1,173	74	48,715	14,807	22,478	24	253
Afrique de l'Est	7,205	15,119	126,265	179,646	116,168	158,906	4,468
Algérie	280	-	9,133	17,717	2,466	219,627	16
Egypte	-	-	2	1,535	3,857	94,208	-
Libye	1	-	1,059	6,063	376	149,856	1
Maroc	143	-	5,087	14,105	8,592	13,411	2
Tunisie	41	-	2,209	6,325	1,364	7,024	10
Sahara Occidental	-	-	-	46	-	27,738	-
Afrique du Nord	465	-	17,491	45,790	16,655	511,864	30
Angola	5,635	100	90,355	22,174	5,073	3,337	656
Botswana	-	-	15,976	37,881	4,874	764	812
Lesotho	-	-	1,318	1,569	517	-	-
Malawi	92	-	4,690	218	2,536	1	-
Mozambique	2,006	43	56,879	6,656	6,666	19	2,269
Namibie	1	-	3,046	64,971	1,848	15,413	6
Afrique du Sud	971	531	36,458	70,151	27,768	518	33
Swaziland	51	44	2,132	-	-	-	-
Zambie	153	-	63,361	4,834	6,534	2	856
Zimbabwe	53	-	27,065	55	11,356	10	-
Afrique Australe	8,963	718	301,280	208,510	67,173	20,064	4,631
Bénin	31	452	9,706	4	789	-	33
Burkina Faso	-	-	6,034	4,601	13,272	5	-
Côte d'Ivoire	1,124	13,792	12,645	21	217	-	10
Gambie	46	1	234	-	411	-	45
Ghana	1,193	6,525	13,617	2	697	5	17
Guinée	665	6,108	16,152	-	196	-	362
Guinée-Bissau	479	339	2,013	-	96	-	473
Liberia	2,488	6,211	1	-	-	-	6
Mali	1	-	9,835	20,717	18,191	70,631	66
Mauritanie	2	-	2	15,942	2,579	84,319	13
Niger	-	-	27	33,542	2,317	80,174	93
Nigéria	3,411	8,736	27,631	11,838	25,802	-	965
Sénégal	293	27	4,901	3,022	9,068	83	310
Sierra Leone	603	5,156	928	-	2	-	274
Togo	53	206	4,642	1	253	-	-
Afrique de l'Ouest	10,389	47,553	108,367	89,692	73,893	235,217	2,666
Madagascar	5,521	10,387	15,940	26,115	-	-	285
Afrique	235,910	127,916	706,057	579,742	298,897	996,298	27,652

6. Références

Achard, F., Eva, H. , Stibig, H. J. , Mayaux, P. , Gallego, J. , Richards, T. , and Malingreau, J.P., 2002, Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, **297**: 999-1003.

Aubréville, A., 1949. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*, Soc. d'Edit. Géog., Marit. et Colon., Paris.

Boulvert, Y., 1986. *Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1 : 1 000 000*. Editions de l'ORSTOM, Notice Explicative N°104, Paris.

Bartholomé E. & Cherlet M 2002, GLC 2000 land cover map of the desert locust recession area - first results

Bartholomé E., Belward A. S., Achard F., Bartalev S., Carmona Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.-M., Mayaux P., Stibig H.-J. 2002, Global Land Cover mapping for the year 2000 - Project status November 2002 (ref EUR 20524)

Boulvert, Y. (1986) Carte phytogéographique de la République Centrafricaine à 1:1 000 000, Notice Explicative No104, Editions de l'ORSTOM, Paris.

Caballé, G. et Fontès, J., 1977. Formations végétales. Planche A9 (échelle : 1 : 2 000 000). in Atlas du Gabon, Ed. Berger-Levrault, Dir. Raphaëlle Walter.

Cabral A., de Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C., 2002, Multitemporal compositing approaches for SPOT4-VEGETATION data, GLC 2000 "first results" workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at

<http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>

Cabral A., de Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C. Bartholomé É. and Mayaux P., 2003, Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24: 3343-3350.

CENADEFOR (1985) *Carte écologique du couvert végétal du Cameroun*, Yaoundé.

De Grandi, G.F., Mayaux, P., Malingreau, J.-P., Rosenqvist, A., Saatchi, S., and Simard, M., 2000, New Perspectives on Global Ecosystems from Wide-area Radar Mosaics: Flooded Forest Mapping in the Tropics", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21:1235-1249.

Devred, R., 1958. La végétation forestière du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique*, 65 : 409-468.

Di Gregorio, A. and Jansen, L., 2000, *Land cover classification system, classification concepts and user manual*, Food and Agriculture Organisation of the United Nations:Rome.

Doumenge, C., 1990. La Conservation des Eco-Systèmes forestiers du Zaïre , IUCN, Gland, p. 51
D'Souza, G., Malingreau, J.P., and Eva, H.D., 1995. Tropical forest cover of South and Central America as derived from analyses of NOAA-AVHRR data. TREES Series B: Research Report n°3, EUR 16274 EN, European Commission, Luxembourg, 52p.

Elvidge, C.D., Baugh, K.B., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., Davis, E.R., 1997, Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63: 727- 734.

Evrard, C., 1968. Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la Cuvette Centrale congolaise. ONRD, I.N.E.A.C., 295 p.

Fontès J. and Guinko S. (1995). Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Toulouse, Institut de la Carte Internationale de la Végétation ; Ouagadougou, Institut du Développement Rural - Faculté des Sciences et Techniques, 67 p.

Faramala, M.H., (1981) Etude de la végétation de Madagascar à l'aide de données spatiales. PhD Thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.

Gérard, P., 1960. Etude écologique de la forêt dense à Gilbertiodendron dewevrei dans la région de l'Uele. I.N.E.A.C. série scientifique n°87, 159 pp.

Hansen M.C., Defries R.S., Townshend J.R.G., Sohlberg R., 2000, Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach *International Journal of Remote Sensing*, **21** 1331-1364.

Holdridge, L.R., Grenke, W.C., Hatheway, W.H., Liang, T., and J.A. Tosi, 1971, *Forest environment in tropical life zones*, Pergamon Press: Oxford.

Janodet, E., 1995. *Stratification saisonnière de l'Afrique continentale et cartographie fonctionnelle des écosystèmes forestiers africains*. Final report to the Joint Research Centre, Contract n°10350-94-07 F1ED ISP F, GEOSYS, Toulouse, France.

Koechlin, J., 1961. *La végétation des savanes dans le sud de la République du Congo*. ORSTOM, Paris.

Lambin E., and Ehrlich, D., 1995. Combining vegetation indices and surface temperature for land-cover mapping at broad spatial scales. *Int.J.Remote Sensing*,16:573-579.

Laporte, N., Justice, C., and Kendall, J., 1995. Mapping the dense humid forest of Cameroon and Zaire using AVHRR satellite data. *Int.J.Remote Sensing*, 1- 6:1127-1145.

Lavenu, F., 1987. *Vegetation Map of Central Africa: Descriptive Memoir and Map* prepared for the Department of Forestry Resources FAO, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Lebrun, J., et Gilbert, G. 1954. *Une classification écologique des forêts du Congo*, I.N.E.A.C. série scientifique n°63, 89 pp.

Letouzey, R., 1968. *Etude Phytogéographique du Cameroun*, Encyclopédie Biologique LXIX, Lechevalier, Paris, 508 p.

Malaisse, F. 1978. *The Miombo Ecosystem*. In Unesco/UNEP/FAO, compilers. Tropical Forest Ecosystems. Unesco, Paris, pp. 589-606.

Malingreau, J.P., and Belward, A., 1994. Recent activities in the European Community for the creation and analysis of global AVHRR data sets. *Int.J.Remote Sensing*,15:3397-3416.

Malingreau, J.P., De Grandi, G.F.,and Leysen, M., 1995. TREES - ERS-1 study. Significant results over Central and West Africa. *ESA Earth Observation Quarterly* 48, 6-11.

Mayaux, P., Janodet, E. Blair-Myers, C.M. and P. Legeay-Janvier, 1997, *Vegetation Map of Central Africa at 1:5M*, TREES Publications Series D1, EUR 17322, Luxembourg: European Commission, 32 pp. + 1 map.

Mayaux, P., De Grandi, G.F., and Malingreau., J.P., 2000. Central Africa Forest Cover Revisited: a Multi-Satellite Analysis", *Remote Sensing of Environment*, 71:183-196.

Mayaux, P., De Grandi, G.F., Rauste, Y., Simard, M., and Saatchi, S., 2002. Large Scale Vegetation Maps Derived from the Combined L-band GRFM and C-band CAMP Wide Area Radar Mosaics of Central Africa, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23: 1261-1282.

Mayaux, P., Gond, V., and Bartholomé, E., 2000, A near-real time forest-cover map of Madagascar derived from Spot-4 VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 16, 3139-3144.

Mayaux, P., Bartholomé, E.M.C.G, Massart, M, Belward, A.S - The Land Cover of Africa for the Year 2000. *LUCC Newsletter* 8: 4-6

MPEA (1983). Republic of Liberia planning and development atlas. Ministry of Planning and Economic Affairs, Monrovia, Liberia, 67 pp

Nelson, R., and Horning, N. (1993) AVHRR-LAC estimates of forest cover area in Madagascar, 1990. *International Journal of Remote Sensing*, 14:1463-1475.

Olson, J.S. and Watts, J.A. (1982) *Major World Ecosystem Complex Map*. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.

Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanaya E. D. K E , Burgess N. D., Powell G. V. N., Underwood E. C., et al., 2001, Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth, *Bioscience*, 933-938

Peeters, L. (1964) *Les limites forêt-savane dans le Nord du Congo en relation avec le milieu géographique*. CEMUBAC LXXIV, Bruxelles, 38 p.

Pekel J.-F. & Defourny, P., 2002 Mapping of the African Great Lakes region from daily VEGETATION data, GLC 2000 “first results” workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>

Sayer, J.A., Harcourt, C.S. and Collins, N.M., 1992. *The Conservation Atlas of Tropical Forests : Africa*. London, Macmillan

SPIAF, 1995. Carte Forestière de Synthèse de la République Démocratique du Congo, Service Permanent d’Inventaire et d’Aménagement Forestier, Kinshasa.

Trochain, J.L., 1957. Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l’Afrique Tropicale. *Bull. Inst. d’Etudes Centrafricaines Nouvelle série*, Brazzaville, n°13-14, 55-93.

Trochain, J.L., 1980. *Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique*. Université Paul Sabatier, Toulouse, 468 pp.

Vancutsem, C., Defourny, P., Bogaert, P., 2002, Processing methodology for full exploitation of daily VEGETATION data, GLC 2000 “first results” workshop, Ispra 18-22 March 2002. Presentation available at <http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>

Vancutsem, C., Bogaert, P., Defourny, P., 2003, Mean compositing strategy as an operational temporal synthesis for high temporal resolution, *IJRS* in press.

Vandenput, R., 1981. *Les principales cultures en Afrique Centrale*. Administration Générale de la Coopération au Développement, Bruxelles.

de Wasseige C., Lissens G., Vancutsem C., Veroustraete F. and Defourny P., 2000, Sensivity analysis of compositing strategies: m and experimental investigations. VEGETATION 2000 conference, Lake Maggiore, 3 April 2000 (Italy, Ispra: Joint Research Centre), pp. 267-274

White, F (1983) *The vegetation of Africa: a Descriptive Memoir to accompany the UNESCO/AEFTAT/UNSO Vegetation Map of Africa*. Paris, UNESCO.

White, L., 1995. *Etude de la végétation de la Réserve de la Lopé*. Projet ECOFAC, Rapport final, AGRECO C.T.F.T., Libreville.

European Commission

EUR 20665 EN – A Land-cover Map of Africa

P. Mayaux, E. Bartholomé, M. Massart, C. Van Cutsem, A. Cabral, A. Nonguierma, et al.

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

2003-X-38 pp. – 21.0 x 29.7 cm

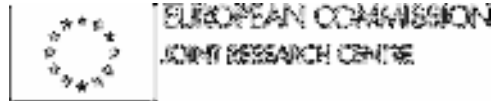
Environment and quality of life series

ISBN 92-894-5370-2

Abstract

A land-cover map of Africa has been produced using multi-sensor satellite observations at a spatial resolution of 1 km. The map highlights the major vegetation formations throughout the continent with an improved thematic content over previous land cover maps, identifying over 24 land cover classes. The majority of the data used were acquired in the year 2000 giving an unprecedented up-to-date overview of the continent's land cover.

The mission of the Joint Research Centre is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of European Union policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Community. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of commercial or national interests.



OFFICE FOR OFFICIAL PUBLICATIONS
OF THE EUROPEAN COMMUNITIES
L-2985 Luxembourg

ISBN 92-894-5370-2

