

**UNIVERSITE DE KISANGANI**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
**SERVICE D'ÉCOLOGIE DU PAYSAGE ET SYSTEMES DE**  
**PRODUCTION VÉGÉTALE**



**ANALYSE DE LA STRUCTURE SPATIALE D'UN PAYSAGE**  
**DANS LA REGION FORESTIERE DE YANGAMBI**  
**(République Démocratique du Congo)**

**Par**

**Ir. Charles Khaly KAMBALE KALIREMWIRA**

Dissertation présentée et défendue en vue  
de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en  
Gestion de la Biodiversité

Promoteur: Pr. Dr. **Jan BOGAERT**

Co-promoteur: Pr. Dr. **Ferdinand KOMBELE**

Année académique 2006 -2007

## Résumé

L'analyse de la structure spatiale a été effectuée dans la région forestière de Yangambi, une zone forestière de la province orientale en R.D.Congo. Une carte au format TIFF géoréférencée sur l'occupation du sol en R.D. Congo, datée de 2006 a servi de base à l'analyse spatiale. Deux méthodes appropriées ont permis d'apprécier la structure spatiale: le système d'information géographique (SIG) et l'analyse spatiale. Huit classes d'occupation du sol (forêts denses, vieilles forêts secondaires, jeunes forêts secondaires, forêts édaphiques, mosaïques forêt-savane, prairies aquatiques, complexes ruraux et agriculture) ont été mises en exergue pour permettre les calculs des indices de composition et de configuration et leur interprétation. Ces descripteurs spatiaux sont combinés pour caractériser l'hétérogénéité (la diversité) et la répartition de l'occupation du sol et pour apprécier le seuil de la déforestation dans cette réserve.

Les résultats obtenus indiquent que l'occupation du sol dans la région forestière de Yangambi est hétérogène avec une fragmentation relativement faible. L'hétérogénéité est induite par les taches constituant les différentes classes du paysage décrit, présentant néanmoins une fragmentation intense dans la classe des forêts denses. Cette classe s'est révélée prédominante avec des taches de forêts denses au sein de ce milieu éco-paysager.

Faisant suite à ces résultats, une étude diachronique multisource et multiscalaire de la réserve forestière s'avère urgente pour caractériser le processus de transformation pédo-paysagère qui s'y déroule. Elle permettra ainsi de déterminer les types d'utilisation adéquats du sol afin de bien maîtriser la dynamique spatio-temporelle de la gestion raisonnée des réserves forestières de la région en particulier et du bassin de la R.D.Congo en général.

**Mots-clés:** Système d'information géographique, analyse spatiale, structure spatiale, éco-paysage, déforestation, Réserve Forestière de Yangambi, cuvette centrale congolaise.

## Abstract

The study of aerial structure has been done in Yangambi forestry region which is a forestry zone of Eastern Province in Democratic Republic of Congo. A chart of TIFF format georeferenced on D.R.C's soil's occupation whose beginning, remote from 2006 has been helpful as a basis in this spatial analysis. Two appropriate methods have allowed us to assess spatial structure: Geographic information system (GIS/SIG) and spatial analysis.

Eight soil occupation classes (dense moist forest, old secondary forests, young secondary forests, edaphic forests, mosaic forest-savannah forest, aquatic grassland, rural complex and agriculture) have been brought out in order to allow or facilitate calculations of composition evidences configuration clues, and their interpretation these spatial descriptors are purposefully combined to characterize diversity or heterogeneity and the spreading of the soil occupation and appreciate the level of deforestation in the (region) preserve.

The obtained results show that the soil occupation in Yangambi forestry area is heterogeneous with a relatively weak fragmentation. The heterogeneity is induced by some marks which constitute different classes of the above described landscape presenting nevertheless intense fragmentation within dense forest classes. This class has been revealed predominant with dense forest's marks within this landscaped eco-system.

Considering these results a multisource diachronic study and multiscalary of the forestry preserve becomes urgent to characterize the soil landscape transformation process which takes place in it. This will permit to determine soil adequate usages types in order to control spatio-temporal dynamics of reasoned management of regional forestry preserves in particular and DRC basin in general.

**Key words:** Geographical information system, aerial or spatial analysis, spatial structure landscaped ecosystem, deforestation, Yangambi forestry region, Congolese central basin

## Remerciements

A travers ce travail qui traduit notre formation acquise, que le Professeur Jan Bogaert, promoteur dudit travail soit remercié pour sa perspicacité, son savoir faire, son génie, ses documentations et son temps en dépit de ses multiples occupations. Notre attention s'adresse également au Professeur Ferdinand Kombele. C'est à son enthousiasme, à ses critiques toujours constructives et ses encouragements que nous devons pour une large part d'être arrivé au bout de cette entreprise. Il a prêté une attention quasi permanente à nos recherches. Nous exprimons ainsi, à tous ses éminents Professeurs notre profonde reconnaissance que les mots ne sauraient fidèlement traduire.

Nos sommes spécialement redevables à Bamba Issouf qui pour ses interventions bienveillantes, a rendu possible l'acquisition et le traitement des données. Que Léon Iyongo trouve sa place pour ses contacts fructueux.

Nous remercions sincèrement la CTB et l'IFA/Yangambi pour leur soutien qui nous a permis de réaliser nos objectifs. Nous sommes par ailleurs reconnaissants à l'égard des personnes ressources de l'INERA/Yangambi plus particulièrement les ingénieurs Murefu et Lonema pour leur encadrement sur terrain.

Notre profonde gratitude s'adresse aussi à tous ceux qui ont bien voulu faire partie de notre jury de mémoire. Nous n'aurions garde de terminer cet avant propos sans avoir une pensée émue à tous les professeurs aussi bien de l'UCL que de l'UNIKIS pour avoir assuré cette formation de DEA.

A l'Ir François Yenga nous disons merci. A tous ceux d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de la présente dissertation, nous sommes bien conscients et nous tenons à remercier chacun pour sa contribution très précieuse.

## Liste des tableaux

- Tableau 1 Données de base de la carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo utilisée dans le cadre de notre étude
- Tableau 2. Nombre de taches par classe d'occupation
- Tableau 3. Indices se rapportant aux valeurs extrêmes des aires des classes
- Tableau 4. Statistiques des mesures surfaciques
- Tableau 5. Indices de diversité des classes
- Tableau 6. Indices relatifs aux valeurs extrêmes de périmètres des classes
- Tableau 7. Tableau récapitulatif des statistiques des mesures des périmètres
- Tableau 8. Tableau récapitulatif des indices de diversité des classes
- Tableau 9. Indices en rapport avec le rapport  $A/P^2$
- Tableau 10. Valeurs des indices en rapport avec l'aire
- Tableau 11. Données statistiques des mesures surfaciques
- Tableau 12. Indice de diversité
- Tableau 13. Indices en rapport avec le périmètre
- Tableau 14. Données statistiques des mesures des contours
- Tableau 15. Données des indices de diversité

## Liste des figures

*Fig. 1: le paysage, niveau d'organisation des systèmes écologiques situées au-dessus de l'écosystème, mais en dessous de la région et du continent (Forman, 1995).*

*Fig. 2 : Représentation de la démarche scientifique adoptée en écologie du paysage : le paysage est la résultante de la dynamique du milieu et de la société qui s'y est développée*

*Fig. 3 : Représentation des trois composantes basiques, selon Forman et Godron (1984), qui forment les paysages à savoir les taches, les corridors et la matrice (Bogaert, 2007).*

*Fig. 4 : Diagramme ombrothermique de la région de Yangambi de 1997-2006 (source : Station climatologique de l'INERA/Yangambi) .La température oscille entre 24° et 26°c.*

*Fig. 5 République Démocratique du Congo : Localisation de la région de Yangambi.*

*Fig.6 : Carte de classes d'occupation du sol de la région de Yangambi.*

*Fig.7 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Agriculture. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution de taches de petites tailles, soit plus de 50 % de taches ont des aires inférieures à 15 km<sup>2</sup>*

*Fig.8: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Complexe rural. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont un périmètre inférieur à 50 km<sup>2</sup>.*

*Fig.9: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Prairie aquatique. La courbe est une droite oblique continue signalant une distribution multimodale (la distribution comporte plusieurs modes, et le mode principal est différent de la moyenne et de la médiane).*

*Fig.10: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Mosaïque forêt- savane. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la*

*distribution des taches de petites tailles, soit 60 % de taches ont des aires égales à 1 km<sup>2</sup>.*

*Fig.11 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt édaphique. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 40 km<sup>2</sup>.*

*Fig.12: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt secondaire jeune. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 45 km<sup>2</sup>.*

*Fig.13: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt secondaire vieille. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 80% de taches ont des aires inférieures à 30 km<sup>2</sup>.*

*Fig.14: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt dense. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 50 km<sup>2</sup>.*

*Fig.15 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour l'ensemble du paysage. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 50 km<sup>2</sup>.*

*Fig.16 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Agriculture. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.*

*Fig.17 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Complexe rural. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.*

*Fig.18 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Prairie aquatique. La courbe est une droite oblique continue tendant vers un plateau signalant une distribution multimodale (la distribution comporte plusieurs modes, et le mode principal est différent de la moyenne et de la médiane).*

Fig.19 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Mosaique forêt savane. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 75 % de taches ont de périmètres inférieurs à 5 km.

Fig.20 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Forêt édaphique. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 90 km.

Fig.21 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Jeune forêt secondaire. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

Fig.22 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Vieille forêt secondaire. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km

Fig.23 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe forêt dense. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

Fig.24 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour l'ensemble du paysage toutes classes confondues. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

Fig.25. Proportions des aires des classes dans le paysage

**Indices en rapport avec le périmètre**

Fig.26 : Proportions des périmètres des classes dans le paysage

## Liste des photos

*Photo 1 : Groupements durables (Forêts semi-caducifoliées) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 2 : Groupements durables (forêts ombrophiles sempervirentes) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 3 : Groupements stables (Forêts insulaires) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 4 : Groupements durables (Prairie aquatique) à Yngambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 5 : Groupements de reconstitution forestière (Recrus forestiers) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 6 : Groupements de reconstitution forestière (Parassoleraie) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 7 : Groupements de reconstitution forestière (Forêts secondaires remaniées) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 8 : Groupements de reconstitution forestière (Groupements artificiels : Bambous) (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 9 : Groupements de reconstitution forestière (Forêt subnaturelles) (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 10 : Groupements de reconstitution forestière (Savane herbacée ou mosaïque forêt-savane) (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 11 : Groupements de reconstitution forestière (Friches herbeuses) (Photo Charles Khaly Kambale)*

*Photo 12 : Jardins de case (Photo Charles Khaly Kambale).*

## Table des matières

Résumé	
Avant-propos	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
Table des matières	
Problématique générale et contexte du travail	1
Objectifs du travail	3
I <sup>ère</sup> partie : Généralités sur l'écologie du paysage	5
I. 1 Emergence de l'écologie du paysage et applications	5
I.2. Lieux et champs d'application	8
I.3. Paysage	9
<b>1.3.1. Définitions</b>	9
<b>1.3.2. Eléments du paysage</b>	13
<b>1.3.3. Structure spatiale du paysage et processus écologique</b>	16
I. 2 Impact de l'intervention de l'homme sur les écosystèmes forestiers	19
I.3. Ecosystèmes forestiers : quel rôle pour l'homme	21
I.4 Comment gérer les forêts comme écosystèmes	22
I.5 Présentation du milieu d'étude	24
<b>I.5.1 Situation géographique</b>	24
<b>I.5.2. Bref aperçu historique</b>	24
<b>I.5.3. Traits géologiques et géomorphologiques</b>	25
<b>I.5.3.1 Géologie</b>	25
<b>I.5.3.2. Géomorphologie</b>	26
<b>I.5.4. Climat</b>	27
<b>I.5.5. Sols</b>	28
<b>I.5.6. Végétation</b>	30
<b>I.5.6.1. Végétation non modifiée</b>	30
<b>I.5.6.2. Végétation modifiée</b>	34
<b>I.5.7. Activités et pression sur le paysage</b>	38
II <sup>e</sup> partie : Matériels et méthodes	40
II.1 Données cartographiques	40
II. 2 Méthodologie	41
II.3. Analyse de la structure spatiale	44
<b>II.3.1 Niveau des taches</b>	44
Analyse de la structure spatiale d'un paysage dans la région forestière de Yangambi (RDC)	
Ir. Charles Khaly KAMBALE	2006-2007

<b>II.3.2 Niveau des classes</b> .....	44
<b>II.3.2.1 Indices de configuration spatiale</b> .....	44
<b>II.3.2.2. Indices de composition</b> .....	50
<b>II.3.3 Niveau du paysage</b> .....	53
<b>III<sup>e</sup> partie : Résultats et discussion</b> .....	58
<b>III.1 Résultats</b> .....	58
<b>III.1.1 Traitement des données cartographiques</b> .....	58
<b>III.1.2 Analyse de la structure spatiale</b> .....	58
<b>III.1.2.1 Niveau des taches</b> .....	60
<b>III.1.2.1.1. Distribution des aires des taches</b> .....	60
<b>III.1.2.1.2. Distribution des périmètres des taches</b> .....	65
<b>III.1.2.2. Niveau des classes</b> .....	70
<b>III.1.2.3. Niveau de paysage</b> .....	79
<b>III.2 Discussion</b> .....	86
<b>III.2.1 Méthodologie du travail</b> .....	86
<b>III.2.2 Interprétation des résultats</b> .....	87
Conclusions et perspectives .....	91
Références bibliographiques .....	93
<b>ANNEXES</b> .....	99

## **Problématique générale et contexte du travail**

L'homme s'est efforcé de mettre de l'ordre dans la nature depuis son apparition. La nature l'a secondé par son abondance dans le travail du sol, la nutrition des plantes et la régularisation des eaux. Lorsque l'homme a outragé la nature, il a créé des déserts et détruit les moyens de sa propre existence. Les erreurs qu'il a commises se retrouvent à l'échelle du globe et se sont accélérées dans l'espace et dans le temps, augmentant ainsi les risques de son anéantissement. Heureusement que pareil aboutissement peut être évité si l'homme se conduit en responsable conscient capable de penser et de comprendre.

C'est le cas par exemple de la forêt qui continue de jouer un rôle essentiel dans la vie de l'homme en lui apportant du bois, en assurant la protection des sols, de ses cultures, en participant à l'amélioration de la qualité de son hygiène et de sa vie (Jacquiot, 1983). L'exploitation de la forêt ne doit plus être empirique ni artisanale, mais plutôt rationnelle en prenant en compte certaines données scientifiques à caractère prévisionnel dans le temps et dans l'espace. C'est aussi le cas par exemple d'un paysage forestier dont les données sur la dynamique de l'évolution de sa biodiversité doivent être disponibles, car un paysage forestier est une biocénose fort complexe et son équilibre dépend de nombreux facteurs qu'il faut connaître et comprendre pour bien gérer (Lévêque, 1996).

La déforestation est un des facteurs qui préoccupent l'humanité actuellement à raison de son impact négatif sur les populations locales, la biodiversité et le climat. A cause de ces effets, le gestionnaire de la nature se trouve confronté aux problèmes des changements écologiques de nature chimique, physique, biologique, économique, sociale, technique, pédologique, etc. Un paysage forestier est composé de plusieurs écosystèmes en interaction, le dynamisme de ceux-ci peut être modifié dans le temps et dans l'espace sous la pression anthropique s'exerçant sur les réserves forestières (R F) par la déforestation.

En effet, la croissance de la population et les progrès technologiques ont conduit à des changements profonds dans l'occupation et l'utilisation du sol, entraînant ainsi des transformations dans la nature et la structure des pédo-paysages. Turner et al (1990) ont dressé un panorama des transformations de la planète depuis 3 siècles tant du point de vue de l'utilisation des terres que de la population ou des ressources en eau. Parmi ces auteurs

### *Problématique et contexte du travail*

Richard (1990) en compilant divers sources statistiques a trouvé que le recul des formations boisées est généralement, moins de 1,2 milliards d'hectares, soit 19% de la surface estimée en 1700. Le recul des formations herbacées est aussi important (-8%, soit 560 millions d'ha). Ce recul s'accélérait, les terres cultivées ont augmenté de 331 millions d'ha après la seconde guerre mondiale alors que l'augmentation n'a été que de 272 millions entre le début du 19<sup>e</sup> siècle et 1945.

Selon FAO (1995), la superficie de la forêt tropicale est passée de 1368Mha en 1980 à 1280Mha en 1990, soit une diminution de 88Mha en 10 ans, ce qui correspond à une perte de 6% de la surface initiale. On a remarqué la disparition des forêts d'environ  $13 \cdot 10^6$  ha/ an entre 2000 et 2005 en Amérique du sud, en Asie du sud-est et dans le bassin de la R.D. Congo (FAO, 2005). Parmi les facteurs de ce changement, nous citons le changement de l'utilisation des sols, considéré de nos jours comme un des changements globaux majeurs de nature anthropique que subit la planète. Par ailleurs, Richard (1990) lie ces transformations à l'augmentation de la population humaine qui est passée de 425 millions en 1500 à 600 millions en 1700, puis 1200 millions en 1850, 2000 millions en 1920 et 44300 millions en 1980.

Particulièrement en Afrique, les principales causes sont l'agriculture, l'accroissement démographique, la pauvreté, l'exploitation forestière, la construction des infrastructures, la fabrication des braises, pirogues et mortiers. En R.D.Congo, lors des dernières décennies, ces causes profondes ont été aggravées suite à un cadre juridique et institutionnel inadéquat. Elles sont exacerbées par un contexte politique défavorable caractérisé par une instabilité et des conflits destructeurs de l'environnement. On a enregistré des pertes de 3701000ha des forêts entre 1995 et 1999 (FAO, 2005). Par ce fait, la R.D. Congo se classe en 7<sup>e</sup> position au niveau mondial sur la liste des pays ayant un fort pourcentage de déforestation après la Russie, le Brésil le Canada, les Etats-Unis, la Chine, et l'Inde. Par ailleurs, la déforestation est reconnue comme un problème majeur de conservation, mais on s'est peu soucié de la fragmentation de l'habitat.

Dans la gestion des écosystèmes forestiers (Holling, 1992), il est important de garder à l'esprit que les gestionnaires se heurtent à des systèmes dont la dynamique se décline à diverses échelles. Cela conduit à des difficultés de décider de l'ampleur et du degré des

### *Problématique et contexte du travail*

impacts d'interventions humaines appropriées sur les systèmes en constante évolution, faute de connaissances suffisantes. Pourtant, faudrait-il d'abord comprendre et maîtriser cet environnement par sa caractérisation, le suivi pluriannuel de son évolution et l'étude des changements et leur impact sur l'écologie du milieu. Ceci est possible avec des nouveaux outils et techniques, comme la télédétection, la modélisation simulée, les systèmes d'information géographique et les traitements de données plus performants, pouvant aider à mieux comprendre la dynamique des écosystèmes forestiers. C'est précisément cette étude éco-paysagère qui sera abordée ici et qui consistera à calculer à l'aide d'outils d'analyse spatiale, un certain nombre d'indices spatiaux qui correspondent à des indicateurs de l'état de transformation de la structure spatiale du paysage. On pourrait alors supposer que la région forestière de Yangambi connaîtrait une forte pression anthropique qui induirait une fragmentation intense de la forêt, conduisant soit à une occupation très diversifiée des sols, soit à un isolement des unités fonctionnelles.

### **Objectifs du travail**

D'une manière générale, cette étude s'inscrit dans le cadre de la caractérisation d'un paysage de la région de Yangambi à l'aide des indices de composition et de configuration de la structure spatiale en écologie du paysage. Elle vise spécifiquement à :

- définir les différents types d'occupation du sol ;
- calculer les données de superficie, de périmètre et de composition ;
- interpréter la structure du paysage à différents niveaux d'organisation (taches, classes, paysage), de composition et d'hétérogénéité spatiale.

Les différents résultats peuvent servir à l'appréciation du seuil critique de menace de la déforestation et aux programmes d'aménagement des réserves forestières de Yangambi en particulier et dans la Cuvette Centrale Congolaise en général. Les performances d'aménagement peuvent avoir pour but d'augmenter la taille de puits de carbone, la fertilité du sol ou la conservation de la biodiversité.

A part la problématique, ce travail comprend trois parties :

- La première consiste en un aperçu sur les notions relatives à l'écologie du paysage et à la description du milieu d'étude ;
- La deuxième décrit les méthodes utilisées et présente les données obtenues ;

*Problématique et contexte du travail*

➤ Enfin, la troisième résume les résultats et la discussion.

Une conclusion et quelques perspectives d'avenir mettent fin à ce travail.

**I<sup>ère</sup> partie : Généralités sur l'écologie du paysage****I. 1 Emergence de l'écologie du paysage et applications**

Créé en 1866 par Ernest Haeckel, biologiste allemand, le terme écologie signifie étymologiquement "la science de l'habitat (du grec oikos =habitat et logos =étude), plus précisément, la science globale des organismes avec leur monde extérieur environnant (Burel et Baudry, 2003 ; Fontan et al, 2008). Dans tous les cas, l'écologie prend en compte à la fois l'être vivant et son environnement. Elle vise à établir les lois qui régissent non seulement les rapports entre les êtres vivants et leur environnement physico-chimique, mais aussi les relations développées entre les organismes eux-mêmes (Burel et Baudry, op. cit).

Au cours de son histoire, les objets d'étude de l'écologie se sont progressivement complexifiés, de l'individu au paysage, en relation avec le développement des sciences en général et plus récemment des technologies. Selon plusieurs auteurs (Burel et Baudry, 2003, Fontan et al, 2008 et Ricklefs et Miller, 2005), elle a changé peu à peu d'objet scientifique en élargissant son champ d'investigation :

- L'autécologie (des espèces considérées dans leurs relations avec le milieu physique environnant);
- La démécologie (analyse des lois régissant les populations en traitant de leur répartition spatiale, de densité de taux de natalité et de mortalité, d'interdépendance et d'évolution);
- La synécologie (analyse d'assemblages d'espèces (peuplements, communautés) dans des milieux « naturels ») et
- La dynécologie (évalue et mesure le potentiel de changement et d'interaction mutuelle des unités écologiques (populations, communautés écosystèmes) et les situe dans la dynamique du paysage et enfin la prise en considération de systèmes complexes intégrant l'homme et ses activités.

Di Castri (*in* Burel et Baudry (2003)), distingue chronologiquement et de façon conceptuelle cinq étapes dans cette progression : l'autécologie, la synécologie, la biosphère et l'homme dans la biosphère. L'écosystème, notion introduite par Tansley en 1935(*in* Burel et Baudry, 2003) a été défini comme une entité homogène spatiale. Duvigneaud dans Burel

*Généralités sur l'écologie du paysage*

et Baudry (2003) le définit comme une biocénose homogène se développant dans un environnement homogène. L'expression « *écologie du paysage* » daterait de 1939.

C'est à Carl Troll (1939) que revient ce mérite. Ce biogéographe allemand avait pour objectif de combiner deux disciplines, la géographie et l'écologie (Burel et Baudry, 2003 ; WIKIMEDIA, 2008 sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie du paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)) C'est à dire relier les structures spatiales aux processus écologiques.

Dans ce cadre, le paysage (Richard, 1975 *in* Burel et Baudry, 2003) est vu comme la traduction spatiale de l'écosystème. Elle faisait alors écho à une théorie unifiante émergente (*Landscape Ecology* pour les anglais, *Landschaftsökologie* ou *Geoökologie* (*Géoeologie*) pour les allemands, *landschapeologie* pour les néerlandais...), proche de la biogéographie, mais s'intéressant plus spécifiquement aux échelles dites « *paysagères* » (ou « *éco-paysagères* »).

Elle a commencé à être conceptualisée dans les textes dans les années 1940-1950 et continue à se développer. Wiens (en 1997 cité sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie du paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)) en distinguait trois courants historiques nés en Europe et en Amérique du Nord :

1. une écologie synthétique et holiste, où l'homme tient une place importante,
2. une écologie classique, où le niveau d'organisation ou l'échelle d'étude deviennent plus large (échelle du paysage),
3. une écologie plutôt spatiale, étudiant comment la structure et la dynamique des paysages hétérogènes influent sur les phénomènes écologiques, et réciproquement (Turner, 1989).

Jusqu'aux années 1970, cette approche est très fortement dominée par la composante "géographie" dont la cartographie, l'un des premiers développements de l'écologie du paysage, est l'outil de base pour la représentation du paysage. Puis, c'était des questions environnementales liées aux transformations des paysages tels que les conséquences de la fragmentation forestière, les changements d'utilisation des terres et enfin la question de la protection de la nature. Pour répondre à ces questions, les écologues se sont rapprochés des biogéographes et ont partagé concepts, outils et méthodes. Des ces échanges est née

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

l'écologie du paysage et en 1982 une association savante internationale est créée : International Association of Landscape Ecology (IALE) (Farina, 1998).

L'écologie du paysage s'intéresse à la dynamique spatio-temporelle des composantes biologiques, physiques et sociales des paysages humanisés et/ou naturels. Elle associe pour cela des disciplines telles que la géomorphologie et l'étude de l'architecture du paysage, l'écologie, la géographie et les sciences sociales. Les centres d'intérêts couvrent des domaines aussi variés que l'étude des impacts du développement humain et des risques écologiques, la biodiversité et son évolution, sans oublier des études prospectives ou le développement de stratégies de gestion, éventuellement restauratoire, et d'aménagement des espaces et territoires, qui puissent être socialement acceptables.

Il s'agit aussi d'observer et de comprendre l'attitude de différents acteurs vis-à-vis des changements du paysage. L'écologie du paysage cherche à identifier les facteurs humains, et écologiques en retour, qui influencent l'organisation de l'espace, son hétérogénéité à diverses échelles, en combinant l'approche spatiale de la géographie et l'approche fonctionnelle de l'écologie.

Si l'Écologie s'intéresse à la dynamique de la biodiversité, à toutes les échelles spatiales et temporelles, l'*Écologie du paysage* s'intéresse particulièrement à l'échelle intégratrice du paysage, des continents et de la planète, et à l'évolution des paysages sous l'effet des interactions complexes entre *processus écologiques* et l'organisation des structures spatiales (qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique). Parfois, l'*écologie du paysage* agit sur ces structures (dites éco-paysagères), soit pour les étudier, soit dans le cadre de mesures de réhabilitation écologique.

L'écologie du paysage reconnaît que les structures éco-paysagères (*cf. réseaux de corridors biologiques, de zones nodales, mais aussi le « patron » et le « grain » du paysage, sa texture, sa rugosité, et ses caractéristiques pédogéomorphologiques...*) conditionnent les possibilités d'accès aux ressources pour ces individus et communautés, dans tout ou partie d'un paysage, et dans le cas des individus à un stade ou autre de leur vie. Les échelles et degré de *connectivité* des « *taches* » du paysage conditionnent également l'accès aux ressources. Ceci concerne tant la faune, la flore que la fonge ou les microbes ou que les

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

communautés que les espèces forment au sein des écosystèmes, agro-écosystèmes, systèmes urbains, etc.

De la complexité des écosystèmes semblent émerger des lignes de forces et des structures visibles ou scientifiquement perceptibles à l'échelle des paysages. L'écologie du paysage tente de les comprendre et de trouver les moyens de les protéger.

Cette discipline aide notamment à mieux comprendre, atténuer et compenser les impacts de la fragmentation des écosystèmes par les infrastructures et actions humaines. Elle ouvre de nouvelles perspectives concernant les impacts des modifications climatiques et l'écoépidémiologie.

### **I.2. Lieux et champs d'application**

Depuis les années 1970-1980 surtout, l'écologie du paysage a développé un important volet « *recherche appliquée* » au travers d'actions parfois qualifié de « *Génie écologique* » et via une offre d'outils (modèles, indicateurs, cartographies) qui visent par exemple à améliorer et évaluer la pertinence et l'efficacité des mesures compensatoires ou conservatoires. Ces dernières sont développées (volontairement, ou plus souvent en application d'obligations légales) pour réduire les impacts environnementaux des grands projets d'infrastructures ou de planification et d'aménagement du territoire, ou lors d'opération de réhabilitation écologique de sites ou sols dégradés (WIKIMEDIA, 2008 sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie\\_du\\_paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)).

L'écologie du paysage est une discipline jeune et en évolution. Elle s'est surtout et d'abord appliquée aux espaces terrestres, naturels, forestiers, agricoles et parfois urbains, mais elle commence à s'intéresser aux volumes océaniques où l'on découvre de complexes réseaux de corridors biologiques et où les concepts de zones-noyaux, zones tampon et corridors pourraient contribuer à une meilleure gestion et protection des ressources halieutiques qui se dégradent rapidement. Après avoir rodé ces concepts et méthodes sur les continuums que sont les rivières, le réseau bocager, les bandes boisées ou réseaux d'arbres ainsi que sur les barrières physiques et bien visibles telles que les canaux, routes et autoroutes, voies ferrées, clôtures facteurs évidents de coupure du paysage, les écologues ont commencé à étudier l'effet barrière d'une mise en agriculture ou en sylviculture d'un milieu naturel, puis ils

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

affinent leurs connaissances sur des effets-barrière plus subtils tels que, par exemple, ceux créés par ;

- Le dérangement ;
- Les changements d'odeur de l'environnement (Pour certaines espèces au sens olfactif très développé, le paysage, nocturne notamment semble être d'abord un paysage d'odeur) ;
- La rupture d'un continuum thermo-hygrométrique ;
- La présence de pesticides dans l'air et dans les pluies, brumes ou rosées, etc.

## **I.3. Paysage**

### **1.3.1. Définitions**

Le paysage au sens où l'ont pris les écologues, est un système écologique, c.à.d un ensemble d'éléments physiques, chimiques, biologiques et socio-économiques dont les interactions déterminent les conditions de vie (Baudry, 1986). C'est un système complexe, hétérogène et structuré spatialement ; l'assemblage des éléments qui le structurent (taches, corridors, matrice) est un fragment visible de la réalité géographique, qu'elle soit physique, sociale ou culturelle (Pinchemel et Pinchemel, 1992; Berque, 1995); il a, pour l'écologue, un caractère fonctionnel dans la conservation d'une biodiversité (Burel, 1991). La notion de paysage s'est considérablement développée ces dernières années et fait désormais l'objet d'une discipline scientifique à part entière, l'écologie du paysage.

Elle est devenue centrale pour la gestion de l'espace, en particulier pour la protection et la gestion durable du patrimoine naturel et culturel (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002). Cet espace est considéré comme un patrimoine commun à préserver.

Cette notion de paysage a souvent oscillé entre deux pôles selon qu'elle est définie par les géographes, les historiens, les ethnologues, les sociologues ou les artistes :

- Le paysage considéré comme la réalité physique d'un espace ; c'est cette conception qui prédomine en écologie du paysage, écologie dans l'espace, étudiant les unités biogéographiques, leur agencement dans l'espace, les communications, les barrières, les fragmentations ;

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

- D'autres ont défini un paysage ce que l'on voit lorsqu'on regarde son environnement à perte de vue, à l'exception des points d'intérêts proches de l'observateur ; on s'est référé également au paysage pour désigner sa représentation dans une oeuvre.

Par ailleurs, dans le cadre de différentes approches qui convergent vers l'écologie du paysage, le paysage a été défini de plusieurs manières ; Ces approches ont été faites en fonction des spécialistes ci haut cités et ils ont reconnu dans le paysage, des terroirs issus des rapports entre nature et société (Burel et Baudry, 2003). Les uns ont développé des méthodes de description (Weber dans Burel et Baudry, 2003), d'autres des analyses de mise en place et de fonctionnement (Meynier, 1976 ; Burel et Baudry, 2003) où la part de l'analyse écologique est parfois importante.

Parmi ces approches, on peut en dégager trois principales (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002):

- Une première approche selon laquelle le paysage est déterminé par les facteurs environnementaux (climat, topographie, etc.) ou par les facteurs dépendant de l'interaction de ces facteurs environnementaux (végétation, hydrologie, etc.) ; à ces facteurs, on peut également ajouter l'impact anthropique ;
- Une approche basée sur la perception de l'environnement par un organisme vivant quelconque, notamment la perception de l'hétérogénéité spatiale du point de vue de ses fonctions vitales ;
- Une dernière approche centrée sur la perception de l'environnement par l'homme ; du point de vue anthropocentrique, le paysage est formé par des entités fonctionnelles qui ont un sens pour la vie de l'homme.

Ces approches n'étant pas mutuellement exclusives, mais complémentaires (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002), la vision centrée sur l'homme et la satisfaction de ses besoins est incontournable dans la perspective de la gestion de l'espace. D'où, la gestion durable du paysage nécessite la maîtrise des facteurs et processus abiotiques et biotiques qui structurent le paysage, ainsi que les besoins des organismes vivants. Ce qui amène à définir le paysage comme un espace hétérogène, cohérent et dynamique résultant de la conjonction évolutive des facteurs écologiques, sociaux culturels et économiques, mais qui est perçu d'une manière unitaire et distincte de ses voisins. Simplement en d'autres termes, le paysage est un ensemble cohérent d'écosystèmes en interaction. Ajoutons que c'est un niveau distinct d'organisation écologique, un système constitué d'une mosaïque

### Généralités sur l'écologie du paysage

d'écosystèmes différents en interaction intégrant des processus naturels et anthropiques. Cette approche permet une certaine flexibilité dictée par les objectifs de l'analyse dans la définition du paysage.

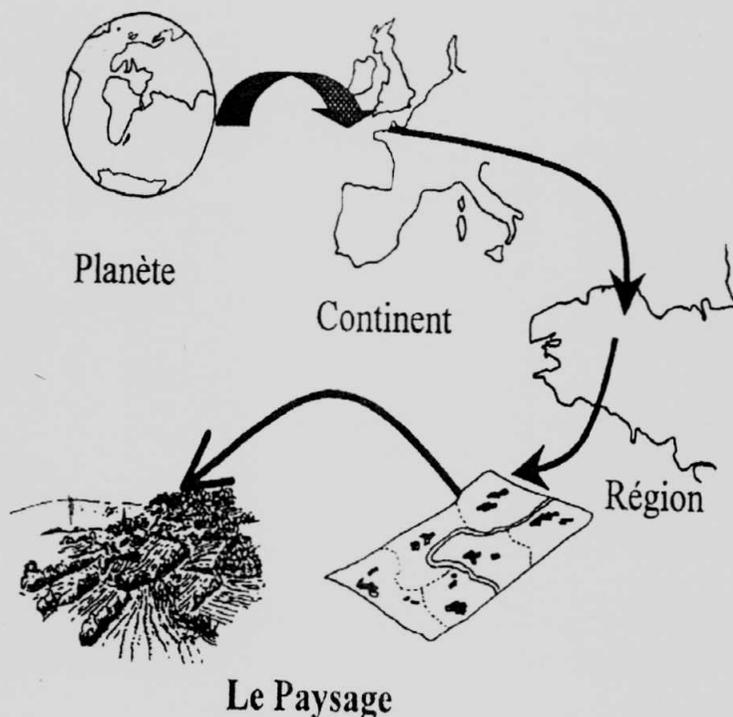


Fig. 1: le paysage, niveau d'organisation des systèmes écologiques situées au-dessus de l'écosystème, mais en dessous de la région et du continent (forman, 1995).

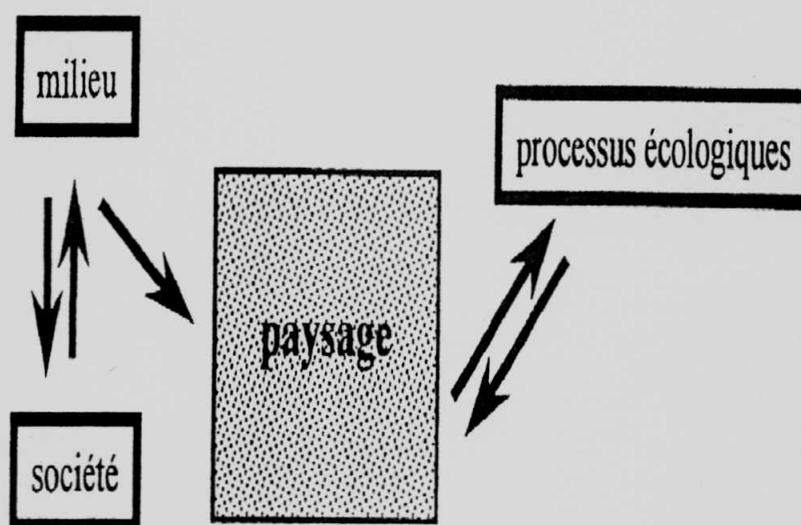


Fig. 2 : Représentation de la démarche scientifique adoptée en écologie du paysage : le paysage est la résultante de la dynamique du milieu et de la société qui s'y est développée.

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

La structure, l'organisation, la dynamique du paysage sont en interaction constante avec les processus écologiques qui s'y déroulent (Burel et Baudry, 2003).

Plusieurs autres définitions ont été formulées par nombreux spécialistes, en voici quelques unes:

- « est l'ensemble des éléments essentiellement stables et permanents où se produisent les mécanismes cycliques et finalisés de l'écosystème ; le paysage est la structure de l'écosystème par opposition au fonctionnement de l'écosystème » (UNESCO *in* Neuray, 1982) ;
- « est une étendue de pays qui présente une vue d'ensemble à son observateur » (Petit Larousse, 1974) ;
- « est une partie de la surface terrestre qui est formée d'un complexe d'interrelations qui provient de l'interaction des roches, de l'eau, de l'air, des plantes, des animaux et des hommes et qui, dans son apparence extérieure, forme un tout perceptible » (Zonneveld *et al.* *in* Neuray, 1982) ;
- « comme une portion de territoire hétérogène composée d'un ensemble d'écosystèmes en interaction qui se répètent de façon similaire dans l'espace » (Forman et Godron, 1986) ;
- «est une configuration particulière de la topographie, de la couverture végétale, de l'utilisation du sol et de l'implantation qui délimite une certaine cohérence des activités et des processus naturels et culturels » (Green *et al.* *in* Farina, 1998) ;
- «est un niveau d'organisation des systèmes écologiques, supérieur à l'écosystème ; il se caractérise essentiellement par son hétérogénéité et par sa dynamique gouvernée en partie par les activités humaines ; il existe indépendamment de la perception » (Burel et Baudry, 2003) ;
- «est un ensemble cohérent d'écosystèmes en interaction » (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002).
- «un ensemble unique et indissociable en perpétuelle évolution dont les résultats, instables, des combinaisons dynamiques d'éléments physiques, biologiques et anthropiques réagissent dialectiquement les uns sur les autres (Bertrand, 1968) ;
- «un écocomplexe ou un assemblage localisé d'écosystèmes interdépendants qui ont été modélés par une histoire écologique et humaine commune» (Fischesser et Dupuis, 1996) ;
- «partie d'un pays que la nature présente à un observateur» (Robert, 1992);

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

- «a portion of Land or expanse of natural scenery as seen by the eye in a single view» (Landscape, Oxford dictionary dans Mahy, 2006);
- «portion de territoire hétérogène composée d'ensemble d'écosystèmes en interaction qui se répètent de façon similaire dans l'espace» (Forman et Godron, 1986).
- «caractère général d'une partie de la surface terrestre, formé par le développement historique et défini par sa structure, ses relations de cause à effet et son aspect. Les influences déterminant le paysage sont la roche, le sol, l'eau, le climat/air, les plantes, les animaux et les interventions de l'homme. En ce sens, le paysage regroupe le paysage construit et celui qui ne l'est pas» (OFEFP in Hertig, 2007).  
[http : //aero-gc. Epff.ch/enseigne/oct 2005/paysage-et-EIE, 2007. ppt](http://aero-gc.Epff.ch/enseigne/oct%202005/paysage-et-EIE,2007.ppt)

Généralement selon Forman et Godron (1986), le paysage a une aire relativement large, de quelques hectares à quelques centaines de kilomètres carrés. Dans le cadre de notre étude, notre approche du paysage consistera en une portion de surface terrestre qui représente quelques kilomètres carrés du sol et qui sera traitée de manière à relier chaque unité élémentaire à la classe correspondante.

#### **1.3.2. Eléments du paysage**

Une structure paysagère est caractérisée par trois éléments essentiels (Fig. 3) basés sur la configuration spatiale des unités paysagères : les taches, les corridors écologiques, la matrice. (Forman, 1997 ; Forman et Godron, 1981). Le paysage est défini comme étant un système formé par une mosaïque de parcelles (Urban et al *in* Ducrot, 2005). La parcelle, plus exactement la tâche << patch >> en anglais, est l'unité élémentaire du paysage (UEP), unité fonctionnelle représentant une zone discrète des conditions environnementales homogènes (c.à.d au sens écologique) (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002 ; Ducrot, 2005). Ces taches sont des surfaces qui diffèrent, par leur apparence et leur composition, de ce qui les entourent (la matrice), s'apparentent à des îles:p.ex.; des bosquets au sein d'un espace agricole ou des clairières au sein d'un massif forestier (Clergeau et Guy, 1999).

Les taches peuvent largement varier en taille, en forme, en type, en hétérogénéité et/ou en caractéristiques des frontières. En écologie du paysage, plusieurs termes sont utilisés pour se référer aux unités de base qui forment le paysage : écotope, biotope, composante du

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

paysage, élément du paysage, unité du paysage, cellule du paysage, géotope, faciès, habitat, site.

Défini d'une manière cohérente et consistante avec les objectifs fixés, chacun de ces termes peut être utilisé pour l'analyse de processus biotiques et abiotiques à l'échelle du paysage (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002). A l'échelle des îlots, un patch (ou UEP) correspond à un îlot qui est un ensemble de parcelles, agricoles ou autres, adjacents. L'îlot correspond à un ensemble connexe de pixels dans l'image classée (Ducrot, 2005). L'ensemble des taches ayant des caractéristiques similaires pour le processus considéré est appelé « type » ou « classe »

Le grain est la limite inférieure de la représentation de la structure interne d'un paysage et de ses unités fonctionnelles. Cette dimension, dépend elle aussi, des buts poursuivis. Ce seuil inférieur de l'hétérogénéité est le niveau de résolution auquel la taille de l'unité devient trop petite pour qu'un individu de l'espèce considérée puisse y répondre, malgré le fait qu'une structure hétérogène existe à des niveaux inférieurs. Pratiquement, il est fonction de l'échelle de la cartographie, plus précisément c'est la taille de la plus petite unité cartographique.

Les frontières de l'unité fonctionnelle correspondent en principe à une discontinuité brutale d'un paramètre. La frontière d'un patch avec ses voisins définit le contour du patch. Le périmètre d'un patch est établi à partir de sa frontière extérieure.

Les corridors sont des unités ayant une forme linéaire caractéristique et remplissant des fonctions écologiques de conduit (passage), de filtre et de barrière. Ils sont souvent présents dans un paysage en forme d'un réseau plus ou moins connecté (réseaux de transports, haies, systèmes riverains, etc.). Forman et Godron, (1981) affirment que ces éléments paysagers linéaires permettent la dispersion d'espèces animales ou végétales entre deux habitats, au sein d'un environnement plus ou moins hostile, la matrice : une haie entre deux bosquets, un ruisseau entre deux étangs, voire un col entre deux vallées, bandes boisées, chemins creux, ripisylves.

En effet, ces corridors jouent un rôle dans les échanges biologiques entre les taches, mais pour une espèce ou un groupe d'espèces considéré, les éléments structuraux tenant lieu de

*Généralités sur l'écologie du paysage*

corridors aux grands mammifères ne sont pas utilisés de manière identique par les petits rongeurs ou les insectes. En fonction de leur capacité de déplacement (mode de locomotion ou vitesse) et des contraintes d'habitat (humide pour les batraciens), les espèces utilisent des corridors aux caractéristiques différentes. Des corridors sont des habitats pour certaines espèces des barrières infranchissables pour d'autres (Paillat et Buet, 1994). Une même réalité géographique peut donc prendre des valeurs différentes selon les espèces; le concept corridor a une dimension plus fonctionnelle que structurelle. En somme, le maintien de la biodiversité dépend non seulement de la préservation des habitats (espaces dans lesquels résident le plus grand nombre d'espèces animales et végétales), mais aussi des espaces interstitiels qui permettent les échanges biologiques entre ces habitats (Burel et Baudry, 1999)

Les taches << d'habitat >> sont des structures paysagères qui apparaissent ponctuellement et isolement dans un espace dominant caractérisé par une certaine uniformité d'occupation du sol et qualifié de << matrice >> (Forman et Godron, 1986). C'est l'élément englobant. La matrice constitue l'élément le plus extensif et le plus connecté du paysage. Elle exerce le rôle dominant dans le fonctionnement du paysage (Forman et Godron, 1986). Dans certains cas le type dominant d'unité est relativement facile à déterminer et dans d'autres, cette composante pourrait être difficile à déterminer ou ne pas exister. Normalement, pour qu'un type d'unité soit considéré comme matrice, il devra au moins occuper 60% du paysage. Ce type d'unités est également considéré comme l'arrière plan du paysage, dans lequel se situent les autres éléments. Ces différents éléments d'une matrice éco-paysagère s'interconnectent de manière complexe. Parmi ces types, la matrice est le plus répandu et le moins fragmenté (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002).

La subdivision du paysage en taches, corridors et matrice (Fig.3) est connue comme le modèle « patch-corridor-matrix » (Burel et Baudry, 2003). Ainsi, chaque écosystème peut être reconnu à partir de la distribution, de la taille, de la forme, du nombre et de la configuration dans l'espace de ces trois composantes de base (Forman et Godron, 1986).

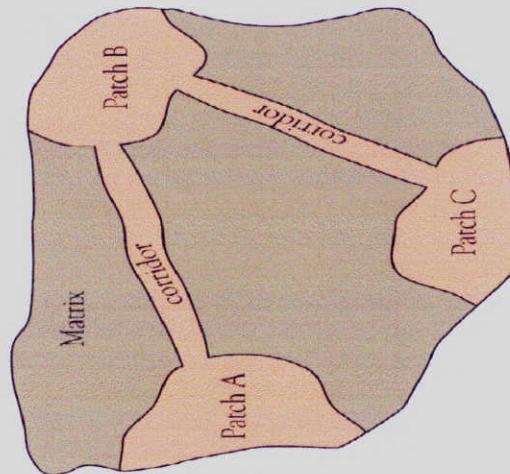


Fig. 3 : Représentation des trois composantes basiques, selon Forman et Godron (1984), qui forment les paysages à savoir les taches, les corridors et la matrice (Bogaert, 2007).

### I.3.3. Structure spatiale du paysage et processus écologique

Les paysages sont distingués par les relations spatiales entre les éléments qui les composent. Ces composantes selon qu'elles se présentent, déterminent les caractéristiques d'un système écologique par une interdépendance de trois éléments clés : sa configuration, sa composition et son fonctionnement. Ces caractéristiques déterminent, indépendamment ou en combinaison, les processus écologiques à l'échelle du paysage (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002)

La composition se réfère aux caractéristiques concernant la présence et l'abondance d'unités ou des types d'unités dans le paysage. Ces caractéristiques ne sont pas explicites du point de vue spatial. La composition est importante pour beaucoup d'organismes et processus écologiques. La configuration quant à elle, se réfère à la distribution et à l'arrangement des unités dans l'espace, certaines mesures de configuration telles que l'isolation ou la contagion concernent l'arrangement de certains types d'unités par rapport à d'autres.

D'autres aspects comme la surface de l'intérieur sont des mesures des caractéristiques spatiales de l'unité. (Iorgulescu et Schlaepfer, op cit.). La configuration des éléments, leur qualité, leur localisation, leur proportion et leur juxtaposition, sont des caractéristiques qui doivent être décrites car ce sont elles qui donnent au paysage son caractère unique. Elles influencent et modifient le comportement des espèces, des populations et des communautés (Farina, 1998). En analysant les structures du paysage et leur dynamique, des déductions

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

utiles au sujet des processus (écologiques) fondamentaux peuvent être faites, et vice versa (Coulson et al., 1999; Bogaert et al. in Bamba, 2006).

Les unités élémentaires sont constituées des pixels contigus avec des frontières précises au sens physique ou biologique. Cela est difficile à identifier dans la nature, car le passage d'une unité à une autre se fait graduellement. Ce qui importe au niveau du paysage est la façon dont ces éléments sont connectés, on parlera de connectivité pour décrire leurs relations, en distinguant une connectivité structurale qui s'applique aux relations spatiales et une connectivité fonctionnelle pour tout ce qui a trait aux échanges entre éléments du paysage (King in Ducrot, 2005)

Ainsi, si la structure spatiale d'une composition paysagère change, peut être suite à la fragmentation d'une zone forestière, les processus de migration des populations qui utilisent cette forêt changeront également. En plus, si l'écosystème considéré est fragmenté, la composition du paysage connaîtra une dynamique, car les zones initialement couvertes par la forêt seront remplacées par une autre classe d'occupation du sol. Ce principe justifie l'importance donnée en écologie du paysage à l'étude des structures spatiales des paysages dont leurs relations avec les processus écologiques font sa base (Burel et al, 1999).

Aussi, Risser et al (1994) affirment que cette science s'intéresse principalement à l'évolution et à la dynamique de l'hétérogénéité spatiale sous l'action de l'homme. Notons que l'hétérogénéité se réfère à la diversité des éléments du paysage et la complexité de leurs relations spatiales.

D'où, L'importance de la structure spatiale des écosystèmes paysagers pour éclairer les processus écologiques est reconnue par la communauté écologique (Bogaert et Mahamane, 2005). Un changement d'un des trois éléments interdépendants du système écologique (configuration, composition et fonctionnement) aura des répercussions sur les deux autres.

Les paysages sont des objets complexes, au sens où le définit Lesne (2002) : « *système dont l'organisation implique différentes échelles d'espace et de temps et engendre un comportement global inédit, ne se déduisant pas simplement des parties élémentaires (propriétés émergentes)* ». De ce fait, il est aussi important de faire varier l'échelle de description d'un paysage. Un des moyens possibles est de faire varier la surface de «

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

fenêtres » d'espace, centrées autour de points échantillonnés dans un territoire et dans lesquelles on caractérise la structure paysagère. Sur une telle trame de points, des variables écologiques peuvent être mises en relation avec des descripteurs du paysage alentour. Pour l'abondance d'un animal qui se déplace, par exemple, seules certaines échelles de description du paysage seront efficaces pour rendre compte du "rayon de perception" de l'animal, selon sa biologie.

Un caractère essentiel de la forêt naturelle par exemple, est qu'elle fonctionne à différentes échelles d'espace et de temps de sorte que les processus qui opèrent à l'échelle de la parcelle sont différents de ceux qui se déroulent à l'échelle d'un vaste bloc forestier, lesquels ne s'expriment à leur tour que dans une perspective d'espaces encore plus vastes. Cet emboîtement d'échelles est une propriété essentielle qui garantit la diversité biologique telle qu'elle fut léguée par l'histoire (à l'échelle du temps géologique).

Une espèce peut être présente localement mais écologiquement éteinte si ses effectifs sont trop faibles pour lui permettre d'assurer les fonctions qu'elle a développées au cours de son histoire. Il s'agit là d'un problème crucial qui touche à l'érosion généralisée, diffuse et sournoise de la diversité biologique dans la plupart des écosystèmes d'Europe où de nombreuses populations appartenant à des groupes végétaux et animaux les plus divers s'éclaircissent, se fragmentent puis s'éteignent. Les «espèces-phares», rares et prestigieuses, ne doivent pas être un prétexte pour oublier le sort de la «petite faune ordinaire».

Il existe plusieurs échelles de diversité biologique qui correspondent à plusieurs échelles d'espace en raison des «effets de voisinage». Un enjeu majeur est de savoir quel est le niveau d'emboîtement des échelles d'espace (par exemple le maillage et les modes de gestion dans les plans d'aménagement forestier) qui soit le plus favorable à l'entretien et à la restauration de la biodiversité. En outre, en prenant en compte les changements dans le temps d'occupation du sol, on peut déterminer les systèmes de culture locaux, caractérisés par la cohérence de la succession des cultures d'un ensemble d'exploitations agricoles. Ceci n'est possible qu'avec l'étude de la dynamique spatio temporelle de la structure paysagère à différentes échelles d'espace.

## **I. 2 Impact de l'intervention de l'homme sur les écosystèmes forestiers**

Si l'impact sur les écosystèmes forestiers a été profond pendant des siècles, ce n'est qu'au cours des dernières décennies que l'influence humaine s'est généralisée simultanément dans pratiquement toutes les forêts.

De loin, le plus grand impact a été dans le défrichage des forêts, tant pour créer de nouvelles terres agricoles que pour ramasser le précieux bois d'œuvre. C'est le cas en Amazonie centrale, la fragmentation a un effet extrêmement grave sur les arbres, dont la perte aura des impacts considérables sur les écosystèmes forestiers (Laurence, 1999). Johns (1997) a indiqué que dans les écosystèmes forestiers tropicaux la coupe des forêts exploitables porte couramment sur un accroissement local de la diversité des espèces, car les changements structuraux et microclimatiques qui y sont liés créent des parcelles d'habitat et des ressources vivrières attirant les espèces qui vivent normalement dans les forêts.

Toute fois, les populations de nombreuses espèces qui vivent normalement dans les sous-étages de la forêt sont en net recul et demeurent peu représentées ou absentes pendant des nombreuses années. La mortalité des arbres en particulier des grands arbres, est plus élevée à proximité des lisières, ce qui a des répercussions importantes sur la conservation des écosystèmes forestiers ombrophiles et de la biodiversité qu'ils renferment. Le taux rapide de la mortalité des grands arbres peut réduire la fécondité du couvert et des espèces naissantes, diminuer le volume et la complexité structurelle de la forêt, encourager la prolifération d'espèces pionnières de courte durée et altérer les cycles biogéochimiques influant sur l'évapotranspiration, le cycle du carbone et les émissions de gaz à effet de serre, services essentiels de l'écosystème.

Le problème ne dérive pas simplement de la coupe des arbres assurant la subsistance d'autres espèces. Les routes construites et entretenues par les concessions d'exploitations forestières d'une part constituent une barrière, facilitent la chasse en offrant aux chasseurs un meilleur accès aux populations forestières inexploitées en abaissant le coût du transport du gibier sur le marché (Wilke et al, 2000).

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

Le commerce de viande est désormais en train d'appauvrir de nombreuses espèces en les réduisant à des simples vestiges dans de nombreuses parties des zones boisées d'Afrique. Concilier les effets contraires des routes sur le développement économique et la conservation de la biodiversité est un des enjeux principaux auxquels sont confrontés les gestionnaires d'écosystèmes de toutes les nations. Manquer d'affronter ce problème pourrait aboutir à des écosystèmes forestiers pratiquement dénués de populations faunistiques qui jouent un rôle essentiel dans la pollinisation, la dispersion des semences et le cycle des substances nutritives (Redford, 1992).

La déforestation est reconnue comme un problème majeur de conservation, mais on s'est peu soucié de la fragmentation de l'habitat. Dans l'Amazonie brésilienne, les superficies forestières fragmentées (avec des forêts de moins de 10.000ha) ou exposées aux effets de bordure (moins d'un kilomètre des défrichements) équivalent à plus de 150% de plus que la zone déboisée.

On trouve un schéma similaire dans tous les tropiques, ce qui veut dire que le sort des écosystèmes forestiers tropicaux de la planète est fortement compromis par la capacité de leurs diverses espèces à survivre dans des paysages fragmentés (Laurence, 1999). A mesure que les impacts de l'homme sur les forêts continuent à s'intensifier, des zones qui étaient autrefois recouvertes de forêts avec des clairières sporadiques deviennent des terres agricoles parsemées de forêts sporadiques. Cela a pour résultat une baisse importante de la population, du moins pour certaines espèces d'oiseaux car la fragmentation réduit la nidification et, inéluctablement, la descendance.

Une étude récente a montré que les taux de reproduction étaient si lents pour certaines espèces dans les sites les plus fragmentés que leurs populations dépendaient de l'immigration d'autres populations provenant d'habitats qui avaient un couvert forestier plus étendu (Askins, 1995). Les stratégies de conservation doivent veiller à sauvegarder et à remettre en état de vastes habitats forestiers non fragmentés dans chaque région (Robinson et al, 1995; Askins, 1995) et à appuyer davantage les effets visant à créer des liens entre les écosystèmes au niveau des paysages (Bennett et Wit, 2001).

### **I.3. Ecosystèmes forestiers : quel rôle pour l'homme**

Selon la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), un écosystème est défini comme "un complexe dynamique de communautés végétales, animales et de micro-organismes et leur environnement non vivant étroitement lié en une unité. Les éléments vivants d'un écosystème interagissent dans des très complexes réseaux alimentaires (Schoener, 1989). Les approches de l'écosystème à l'aménagement des forêts prennent en compte la complexité de ces interactions et s'efforcent à la fois de conserver la productivité des écosystèmes forestiers et d'améliorer leur capacité de s'adapter au changement.

Le niveau des écosystèmes offre une bonne base pour la résolution des problèmes critiques de gestion des ressources. A l'occurrence, la conservation de la biodiversité forestière au niveau de l'écosystème aide à assurer le maintien de service comme l'équilibre des gaz atmosphériques, le recyclage des substances nutritives, la régulation du climat, le maintien de cycle de l'eau et la formation du sol (Daily, 1997).

En outre, la diversité des espèces accroît la capacité productive de nombreux écosystèmes forestiers et leur capacité d'adaptation à l'évolution des conditions (Johnson et al, 1996) Le potentiel de mauvaise gestion se traduit par la transformation quasi permanente d'une forêt hautement productive en un système nettement moins productif (comme les pâturages). Ainsi, les changements graduels du climat, du flux de substances nutritives et de la fragmentation de l'habitat peuvent aboutir à des changements radicaux et soudains du caractère d'un écosystème forestier (Scheffer et al, 2001)

Si nombreux et variés que puissent être les facteurs à la base de ces modifications la perte de résilience causée par la baisse de la biodiversité au niveau des écosystèmes reste le facteur le plus déterminant. Loin d'être "vierge", les forêts font partie du paysage humain, et la biodiversité que l'on y trouve aujourd'hui a subi la profonde influence de l'humanité étant donné que les forêts et l'homme ont évolué de concert pendant des milliers d'années. Ainsi dès lors que les écosystèmes forestiers sont "naturels", les êtres humains font partie intégrante de cette nature. De ce fait, renforcer la capacité de régénération des écosystèmes forestiers signifie renforcer la résilience des systèmes de gestion humains, en leur permettant de s'adapter à l'évolution des conditions.

**I.4 Comment gérer les forêts comme écosystèmes**

Les approches d'écosystèmes pour la conservation de la biodiversité forestière devraient reconnaître qu'il vaut mieux considérer toute politique environnementale comme un test d'hypothèse où les mesures de gestion proposées sont censées cibler des objectifs précis et donner les résultats escomptés.

Dans ce sens, la gestion des écosystèmes est toujours une expérimentation, un exercice d'apprentissage fondé sur l'expérience. Un élément essentiel servant à utiliser les connaissances dans la gestion de l'écosystème est la surveillance, qui sert de base d'informations pour modifier les mesures de gestion à la lumière de l'expérience. Les systèmes de suivi et de remontée d'informations peuvent fonctionner dans un vaste éventail d'écosystèmes forestiers (Bennett et Wit, 2001), d'où, il importe de définir l'objectif d'aménagement aussi rigoureusement que possible, en tenant compte des informations disponibles.

La conservation de la biodiversité forestière au niveau des écosystèmes demeure un problème pour les aménageurs de ressources. Néanmoins, certaines orientations générales semblent déjà se faire jour notamment :

- Protéger de vastes étendues boisées plutôt que des petites lorsque les circonstances le permettent ;
- Rétablir la connectivité entre les petites aires protégées adjacentes en intervenant sur l'habitat et la promotion de la reforestation du paysage ;
- Protéger les bordures de forêt contre les dégâts structuraux, les dégâts dus aux incendies et la colonisation d'espèces exotiques, en laissant une zone tampon naturelle qui pourrait être gérée comme un écotone naturel plutôt qu'une transition brute et enfin ;
- Atténuer au maximum le passage brutal de la matrice adjacente en diversifiant et en encourageant une utilisation des terres moins intensive aux abords des forêts, maîtriser l'utilisation des feux de brousse dans les écosystèmes qui ne sont pas pyroclimatiques, minimiser l'application des produits chimiques toxiques et contrôler l'introduction d'espèces exotiques potentiellement envahissantes. La proposition de grands couloirs de biodiversité en Amérique Centrale, en Amazonie (Gascon et al, 2000) ou ailleurs illustre bien cette approche.

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

En effet, le concept général consiste à appliquer les principes qui permettent aux forêts de fonctionner comme écosystèmes à la pratique de gestion forestière, par exemple en assurant la régénération naturelle, en utilisant des techniques d'abattage à faible impact qui ne perturbent pas les sols et en évitant une fragmentation excessive. Vu que les communautés font partie des écosystèmes forestiers, leur participation peut constituer un moyen important d'aider à résoudre les conflits d'intérêts entre les groupes locaux et les départements forestiers et de contribuer aux objectifs de conservation.

Au Népal, par exemple, la gestion des forêts villageoises par les groupes d'usagers locaux a créé un vif sentiment d'appropriation et aidé à améliorer les pratiques d'aménagement.

Les forêts communautaires offrent une certaine stabilité logique et les groupements d'usagers des forêts deviennent plus attentifs aux objectifs de conservation. Dans quelques forêts du moins, les populations de faune sauvage ont augmenté avec la diversité des espèces (Aus der Beek et al, 1997).

Tandis que les groupes locaux et les autochtones sont tentés, comme tout le monde, de surexploiter les ressources forestières pour en tirer des gains à court terme, certains ont institué leurs propres mesures de gestion de l'écosystème. C'est le cas des Emberà qui réservent de grandes étendues comme zones protégées par des esprits. Les superficies bénéficiant de cette protection sont étrangement similaires à celles généralement mises hors production par les gouvernements modernes pour en faire des aires protégées. Ces grandes étendues de forêts séculaires servent de refuge pour la reproduction de la faune et de la flore et la protection des bassins versants (Harp, 1994).

Il faut nuancer la foi dans la capacité des communautés locales d'administrer les écosystèmes en reconnaissant que les forêts remplissent de nombreux objectifs d'intérêt national – satisfaire les besoins en bois d'œuvre et en bois de feu, faire des choix d'utilisation économique future, prendre en compte les valeurs éthiques et esthétiques et procurer des avantages plus généraux comme la conservation de la biodiversité.

Ainsi, la simple gestion locale des ressources forestières peut ne pas toujours aboutir à des niveaux sociaux de conservation optimale de la biodiversité. En revanche, la société dans son ensemble doit mobiliser des ressources supplémentaires et adopter de nouvelles

## *Généralités sur l'écologie du paysage*

démarches au service d'une conservation socialement acceptable, adaptée à son cadre écologique, social, historique et politique. Comme dans tout autre domaine, la gestion consiste à se fixer des objectifs et à effectuer des choix économiques nécessaires à leur réalisation.

### **I.5 Présentation du milieu d'étude**

#### **I.5.1 Situation géographique**

L'Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques (INERA) a acquis en 1933 une grande concession dans la réserve de Yangambi. Cette dernière est située à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani chef lieu de la Province Orientale en R.D.Congo. Cette concession subdivisée en Yangambi-centre, Localité de Yangambi et Forêts lourdes (Béguin, Junior et Henry in Kombele, 2004) est comprise entre  $24^{\circ}16'95''$  et  $25^{\circ}08'48''$  de longitude est, entre  $00^{\circ}38'77''$  et  $01^{\circ}20'20''$  de latitude nord. (De Heinzelin, 1952). Cette étude a porté sur Yangambi et ses environs (Fig 6), une étendue vaste d'environ 100km de côté :

- La limite Ouest est située à environ 40km à l'ouest du point kilométrique zéro (PK 0) de Yangambi-Centre aux coordonnées géographiques  $N00^{\circ}56'43''$  et  $E24^{\circ}37'31''$
- La limite Est à environ 60km à l'est de PK 0 de Yangambi-centre ;
- La limite Nord à environ 20km au nord de PK 0 de Yangambi-centre et
- La limite Sud à environ 80km au sud de PK 0 de Yangambi-centre.

#### **1.5.2. Bref aperçu historique**

Trois groupes de la tribu Turumbu, les Yaelongo, les Yambaw et les weko, ont parcouru le territoire de Yangambi en s'installant de préférence le long des rivières. Les Yaelongo, après avoir descendu le cours supérieur de la rivière Lobilo sur la rive droite, ont franchi la crête de la séparation des eaux Lobilo –Bohondé pour occuper la source de cette dernière. De là, 3 clans naquirent : les Yalibwa restés en forêt, les Yaselia qui se sont dirigés vers le fleuve Congo par la rive gauche de la Bohondé, les Bokau effectuaient le même mouvement sur la rive droite (Gilson et al, 1956).

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

Selon Kombele (2004), à part le village "Yangambi –Lokelé" sur la rive droite du fleuve Congo, Yangambi-centre est habité en majorité par les travailleurs de l'INERA, ex INEAC (Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo belge et du Rwanda-Urundi). Les travailleurs autochtones (Turumbu, Lokelé, Mbolé-Lokelé, Topoké,...) viennent en majorité des villages paysans de l'ancienne concession de l'INERA (Turumbu, Lokelé, Mble –Lokeren, Topo) et des territoires voisins dans la province orientale. Les autres provinces de la R.D.Congo y sont représentées.

### **I.5.3. Traits géologiques et géomorphologiques**

#### **I.5.3.1 Géologie.**

La série sédimentaire de Yangambi est composée de dépôts très hétérogènes, principalement sablonneux, à strates subhorizontales ou obliques, déposés dans un bassin de sédimentation lacustre sous un climat aride à semi-aride (De Heinzelin, 1952; Cahen, 1954). Elle est recouverte par un banc ferrugineux d'âge fin-Tertiaire qui englobe de matériaux cimentés d'origines diverses tels que graviers roulés, agglomérats subanguleux de grains de sables, et de quartz blancs, etc. (Van Wambeke, 1956).

Cette formation latéritique dite "banc limonitique" (De Leenheer et al, 1952) ou nappe de concrétions limonitiques (Cahen, 1954) ou encore cuirasse ferrugineuse (Gilson et al., 1995) est uniformément recouverte par le dépôt éolien (De Leenheer et al, 1952, Gilson et al., 1956) des sables ocre-jaune ou manteau superficiel de Van Wambeke (1956) qui marque sa topographie. Ces deux unités n'affleurent que dans la falaise ; la présence de débris latéritiques et d'éléments provenant de la série sédimentaire de Yangambi n'est à signaler que dans les alluvions récentes des affluents du Congo et de l'Aruwimi.

Les sédiments issus des sables éoliens sont à diviser en trois groupes distincts (Gilson et al, 1956):

- Les sables éoliens non remaniés autochtones du Pléistocène inférieur ;
- Les sables éoliens remaniés ou redéposés, datant peut-être de l'Epi-Pléistocène ou de sa fin ;
- Les sables colluvionnaires récents de bas des pentes.

**I.5.3.2. Géomorphologie**

Deux entités morphologiques nettement distinctes apparaissent dans la région cartographiée. Ces deux unités, les plateaux sablonneux et la plaine alluviale, sont séparées par un escarpement. Le relief de Yangambi-centre par exemple est un plateau disséqué (Plateaux Lumumba, Likango, Yangambi et Isalowe) par des vallées à fonds plats et larges.

Au niveau des plateaux, deux surfaces sont reconnues :

- La surface d'accumulation des sables éoliens du pléistocène inférieur et
- La surface d'érosion actuelle des tributaires du fleuve Congo, qui se situe dans les couches de la série sédimentaire de Yangambi

Dans certains endroits, le versant sud de la première surface peut atteindre 115-125m au dessus du niveau du fleuve. Les versants de vallées qui relient les deux surfaces précitées présentent, dans leur partie supérieure, des coupes convexe-concave, s'inclinant ensuite brusquement jusqu'au fond alluvial plat des rivières. La dénivellation entre le plateau et le fond de la vallée varie de 50 à 70 m.

Les fonds sont occupés par des cours d'eau dont les principaux sont les affluents tributaires du fleuve Congo s'écoulant vers le sud (Lomami, Lifindo, Lotolo, Bofofoko, Lilanda, Bohondé, Lusambila, Isalowe, Lobilo, Lotuli, Londe, Loilé, Lokwaye). Des nombreux affluents forment des interfluves plus étroits aux sources et larges au niveau de leur confluence avec les affluents du fleuve. Dans la plaine alluviale, il existe de niveaux d'alluvions étagés depuis le niveau actuel du fleuve jusqu'à une quinzaine de mètres plus haut.

Ces formations ont pu être classées en quatre groupes :

1. Les alluvions actuelles dont le niveau est compris entre celui des eaux basses et celui des plus fortes crues. Leur physionomie en îles et chenaux a été modifiée par l'établissement d'un réseau hydrographique de drainage au fur et à mesure de l'abaissement du niveau du fleuve ;
2. Les alluvions récentes de 2 à 5 m au-dessus des précédentes. Les îles et les chenaux sont plus ou moins colmatés et subsistent en partie à l'état de marais plus ou moins permanents ;
3. Les alluvions intermédiaires de 5 à 8m au-dessus des formations les plus actuelles. De nombreux marais, drainés vers un canal central, ne sont inondés qu'en période

### *Généralités sur l'écologie du paysage*

de fortes pluies ; certaines de ces formations sont découpées par des tronçons principaux du réseau hydrographique ;

4. Les alluvions anciennes, de 12 à 15m au-dessus des formations les plus basses. Les ramifications de ce réseau représentent des gros ruisseaux coulant dans les vallées bien dessinées tandis que la plupart des anciennes dépressions marécageuses sont actuellement bien drainées.

#### **I.5.4. Climat**

Bernard, dans diverses communications inédites, citées par Gilson et al. (1956) considère le climat actuel de Yangambi appartenir au type Af de Köppen et à la classe B de Thornthwaite. L'indice de précipitation effective de cet auteur y est de 100. Ce qui confirme le caractère continental de Yangambi, lequel traduit d'ailleurs l'aspect semi-ombrophile de la forêt qui couvre la région étant donné que son seuil de la classe des climats très humides est fixé à 128. La radiation globale journalière et l'insolation sont relativement faibles. L'ensoleillement est de 1972h par an soit 45% d'insolation possible. La température moyenne est de 24°5'c, l'humidité relative se maintenant entre 70 et 90%. Les pluies semblent assez bien réparties sur toute l'année.

Selon Kombele (2004) une lame d'eau annuelle de 1875mm se distribue mensuellement entre 94mm (février) et 241mm (octobre). Mais ces moyennes dissimulent la haute variabilité des régimes annuels successifs. On signale une grande saison sèche s'étendant de mi-décembre à fin février et une petite en juin. La petite saison des pluies est bien marquée en mai. La grande saison des pluies se produit de septembre à novembre avec un maximum principal en octobre.

La figure 4 ci-dessous décrit l'évolution de température et de précipitation moyennes de la région de Yangambi pendant les neuf dernières années à l'exception de l'année 2003 faute des données manquantes.

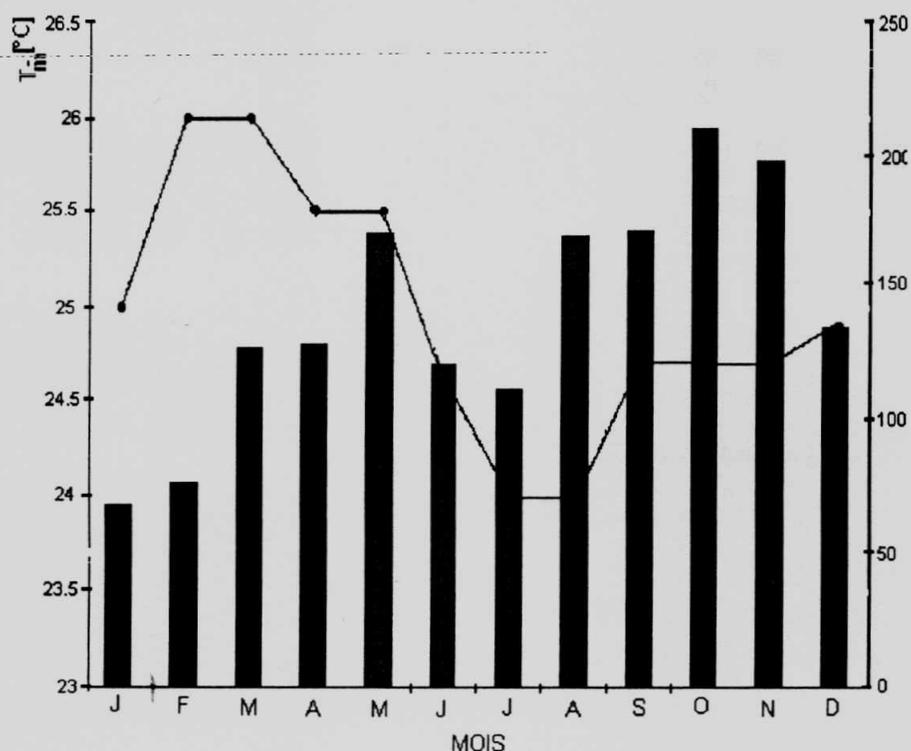


Fig. 4 : Diagramme ombrothermique de la région de Yangambi de 1997-2006 (source : Station climatologique de l'INERA Yangambi). La température oscille entre 24° et 26°c.

### I.5.5. Sols

Notre site est caractérisé par les sols des plateaux et de la plaine alluviale. Ceux des plateaux sont formés principalement à partir du sédiment éolien composé en majeure partie de sables quartzeux, d'argile kaolinitique et d'oxydes de fer libres plus ou moins hydratés. Ils sont pauvres en bases échangeables et possèdent un faible degré de saturation (Van Wambeke et Liben, 1957). Kellog (1994) a classé les sols de la région dans les « Reddish-Yellow Latosols » et reconnaît aux latosols les caractéristiques suivantes : rapport silice/sesquioxydes bas, capacité d'échange faible à moyenne pour la fraction minérale, faible activité de l'argile, peu de minéraux primaires, peu de matériaux solubles, un degré de cohérence assez élevé des agrégats structuraux, une couleur rouge à rougeâtre du sol.

Dans la classification régionale des sols des plateaux de Yangambi, les sols sont regroupés en série et complexes en fonction du matériau parental. Ainsi distingue-t-on les séries Yangambi (Y1), Yakonde (Y2) et Isalowe (Y3) respectivement pour les matériaux sable éoliens autochtones de Yangambi, sable remaniés et colluvions. Les alluvions tributaires

*Généralités sur l'écologie du paysage*

qui ne recouvrent que des superficies restreintes dans la zone des plateaux, sont groupées en un complexe des sols hydromorphes. C'est le cas du complexe Bohondé-Boto (AT).

Le complexe-Z comprend les unités qui apparaissent sur la falaise et le piedmont séparant les sols alluvionnaires des sols des plateaux. Il comprend principalement des dépôts dérivés du sédiment éolien remanié et renferme localement des éléments provenant du banc ferrugineux. Les sols de la plaine alluviale dérivent de matériaux parentaux qui se distinguent par la granulométrie des sables et la teneur en fractions fines où la diminution progressive en limon semble bien être proportionnelle à leur âge.

Le développement des profils à partir de ces matériaux parentaux est également fonction du temps :

- Sols d'alluvions récents : les séries G1-G1a-G1b d'anciennes îles sont lourdes et profondes et les séries G2-G2a-G2b des chenaux colmatés sont peu profondes et plus grossières. Les complexes c et d des chenaux incomplètement comblés sont des sols mal et très mal drainés ;
- Sols d'alluvions actuelles : la structure spéciale des sols lourds est plus développée et la consistance plus ferme ; la couleur est moins grise et plus claire ;
- Sols d'alluvions intermédiaires : dépôts riches en sable fin et relativement pauvres en limon ; matériaux argilo-sableux à sablo-argileux. Les séries H1-H1a-H1b contiennent peu de sable grossier alors que d'autres comme H2-H2a-H2b en possèdent en quantité appréciable.
- Sols d'alluvions anciennes : texture très pauvre en limon (2 ou 3%), structure à tendance grumeleuse, sols légers et à drainage facile.
- Sols d'alluvions du réseau de drainage : Le complexe R dont l'ensemble est sableux, contiennent peu de limon et peu de sable grossier avec une structure peu développée. Ces sols sont bien, moyennement et imparfaitement drainés, tandis que le complexe AR groupe les sols mal et très mal drainés dans les alluvions sableuses (micacées)

### I.5.6. Végétation

Au point de vue phytogéographique, Yangambi fait partie du secteur forestier central de la région guinéenne. La zone étudiée se rattache géographiquement et climatiquement au district du bassin central du Congo, domaine des forêts ombrophiles équatoriales.

Par suite de sa position au bord du district nord-est du Congo et de l'influence des facteurs édaphiques et anthropiques, Yangambi comprend un pourcentage élevé de types forestiers subéquatoriaux et guinéens à association Oxystigmo-Scorodophleion (Germain et Evrard, 1954). Selon Kombele (2004), les principaux types de végétation à Yangambi-centre peuvent être rassemblés en deux groupes principaux notamment les types de végétation non modifiés et ceux modifiés ou anthropisés.

#### I.5.6.1. Végétation non modifiée.

Dans les végétations non modifiées on énumère certaines végétations tant de terre ferme que des vallées du fleuve et de ses tributaires.

Les groupements durables :

- Les forêts semi-caducifoliées : les stades ultimes de la forêt secondaire passent insensiblement à la forêt semi-caducifoliée adulte. Des fortes dominances locales se présentent et les plus importantes sont à *Scorodophloeus zenkeri* Harms., *Cynometra hankei* Harms, *Dialium corbisieri* Staner. La physionomie de cette formation peut revêtir des aspects variés : encombrée et lianeuse à proximité des rivières ; plus lourde et sous-bois considérablement éclairci sur le plateau ;



Photo 1 : Groupements durables (Forêts semi-caducifoliées) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- Forêts ombrophiles sempervirentes à *Gilbertiodendron dewevrei*: dominance de *G. dewevrei* (De Wild) J. Léonard qui forme normalement à lui seul le dôme forestier continu. Elles se développent sur les pentes sableuses des abords de rivières où le substrat jouit d'une bonne économie en eau (Van Wambeke et Evrard, 1954)

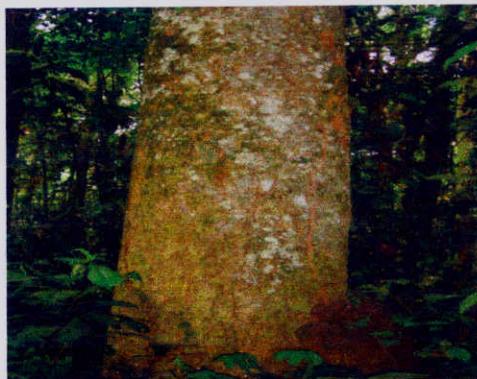


Photo 2: Groupements durables (forêts ombrophiles sempervirentes) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- les forêts climaciques à *Brachystegia laurentii*: l'association à *Brachystegia laurentii* (Lebrun et Gilbert, 1954; German et Evard, 1956) appartient à la catégorie des forêts ombrophiles sempervirentes. Elle est généralement très lourde et caractérisée par une dominance presque exclusive de *B. laurentii* (De Wild) J. Louis ex Hoyle

#### Les groupements stables :

- Les forêts insulaires : l'occupation forestière débute par l'installation de pieds ou bouquets de *Bridelia micrantha* (Hochst) Baill, *Ficus mucoso* Ficalho, *Spondianthus preussii* var. glaber Engl. au sein des groupements arbustifs d'*Alchornea cordifolia*. Ceux-ci cèdent successivement la place à une forêt enchevêtrée et lianeuse (Louis, 1947) dominée par *Lannea welwitschii* (Hiern.)Engl., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Ficus mucoso*, *Pseudospondias microcarpa* (A. Rich) Engl, *Oxystigma buchholzii* Harms., *Spondianthus preussii* var. glaber. Engel. Avec sous-bois relativement clair, formé principalement par *Leptonychia batangensis* (C.H.W.) Burret. En outre, on y rencontre fréquemment *Elaeis guineensis* Jacq. à l'état subspontané.



Photo 3 : Groupements stables (Forêts insulaires) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- Complexe de forêts marécageuses et rivulaires réunissant divers groupes édaphiques liés aux sols hydromorphes dans les vallées des tributaires.
- Les forêts marécageuses à *Uapaca heudelottii* Baill sont liées plus étroitement aux dépressions marécageuses et des îles et des rives du fleuve Congo. On remarque aussi l'association à *Albizia laurentii* De Wild., *Chrysobalanus icaco* L., *Coffea congensis* Froehner, *Ivirngia smithii* Hook. F.
- Peuplements à *Uapaca guineensis*: sur la rive droite du fleuve Congo et les abords immédiats de certains de ses tributaires, quelques peuplements à dominance presque absolue de *Uapaca guineensis* Muell. Arg. bordent des terrains marécageux

La végétation des vallées du fleuve et de ses tributaires comprend :

Les groupements pionniers (Louis, 1947 ; Léonard, 1952):

- La végétation pionnière des bancs de sable dominée par *Panicum repens* L., *Cyperus maculatus* Boeck., *Cyperus erectus* (Sch.) Matf. Et Kük., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Acroceras zizanioides* (H.B. et K.) Dandy., *Hermarthria natans* Stapf.
- La végétation des vases caractérisée essentiellement par *Ipomea recta* De Wild, *Commelina diffusa* Burm. f., *Eclipta prostrata* (L.), *Ludwigia stolonifera* (Guill  $\infty$  Perr.) Raven, etc.

### Généralités sur l'écologie du paysage

- Les prairies aquatiques dominées par *Echinochloa stagnina* (Retz) P. Beauv., *E. pyramidalis* (L) Hitchc et Chase, *Vossia cuspidata* (Roxbo.) Griff. et *Leersia hexandra* Swartz;



Photo 4 : Groupements durables (Prairie aquatique) à Yngambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- La végétation arbustive périodiquement inondée caractérisée par une végétation sous arbustive dans laquelle arbustive *Mimosa pigra* L. envahie par *Alchornea cordifolia* Muell. Arg.
- La végétation pionnière des falaises : au niveau des eaux, la paroi sableuse est recouverte d'une végétation briophytique à dominance de *Marchantia chevalieri* Steph. ex Bonner. (De Maret, 1954), puis au niveau supérieur la paroi des fougères dominée par *Dicranopteris linearis* (Burn.) Under. et enfin, plus haut, sur les petits cônes d'effondrement, les replats et les crêtes des falaises, la végétation forestière caractérisée *Musanga cecropioides* R. Br., *Caloncoba welwitschii* (Oliv.) Gilg., *Vernonia conferta* Benth, *Anthocleista nobilis* G. Don, *Macaranga* sp, *Harungana madagascariensis* Lam. Et occasionnellement *Alchornea cordifolia* (Schum. & Thonn.) Muell. Arg., etc.

### I.5.6.2. Végétation modifiée.

Les groupements de reconstitution forestière :

- Les recrus forestiers qui sont des stades pionniers de la recolonisation forestière et se présentent comme des taillis très touffus dominés par *Vernonia conferta* Benth, *Macaranga spinosa* Muel. Arg., *Harungana madagascariensis* Lam. et *Anthocleista nobilis* G. Don. Le sous-bois, très dense, est surtout constitué de Zingibéracées et de Marantacées diverses.



Photo 5 : Groupements de reconstitution forestière (Recrus forestiers) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- La parassoleraie: dépassant le stade du recru, l'installation forestière se continue par la parassoleraie. Deux stades se différencient nettement dans ce groupement, la supérieure constituée exclusivement de *Musanga cecropioides* R. Br.; l'inférieure, le sous-bois formé d'espèces du recru ayant pu s'adapter à ce nouveau milieu et pionnières de la forêt secondaire.



Photo 6 : Groupements de reconstitution forestière (Parassoleraie) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- Les forêts secondaires remaniées : Sous ce symbole, on reconnaît des stades de transition entre les formations récentes de reconstitution du couvert forestier et la forêt hétérogène adulte. La strate arborescente est constituée d'espèces à croissance rapide et à bois léger. *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Pax, *Combretodendron africanum* Exell, *Pentaclethra macrophylla* Benth., *Petersianthus macrocarpus* Beauv., *Albizia caeans* De Wild., *A. adiantifolia* (Schum.) W.F. Wight, *Ivirngia grandifolia* (Engl.) Engl. On peut y distinguer deux stades physiologiques : un stade juvénile à *Myrianthus arboreus* P. Beauv. et un stade adulte à *Alstonia boonei* De Wild. Nous rattachons aux forêts secondaires la végétation des falaises du fleuve. La composition floristique des forêts peuplant cette pente abrupte est en effet analogue, bien que leur origine soit différente. Elles prennent naissance par le rajeunissement de la face de la falaise provoqué par l'érosion du courant à la base et les éboulements successifs.



Photo 7: Groupements de reconstitution forestière (Forêts secondaires remaniées) à Yangambi (Photo Charles Khaly Kambale)

- Les groupements artificiels : reboisement essentiellement constitués des bambous utilisés pour la fixation des falaises de Yangambi voire même au-delà dans d'autres formations végétales.



Photo 8 : Groupements de reconstitution forestière (Groupements artificiels : Bambous)  
(Photo Charles Khaly Kambale)

- Les forêts subnaturelles (Kombele, 2004) sont situées dans les réserves forestières où l'on pratiquait l'exploitation forestière sélective et l'aménagement forestier. Elles caractérisent un stade de recolonisation et de développement d'une forêt qui n'est ni totalement primaire ni secondaire.



Photo 9: Groupements de reconstitution forestière (Forêt subnaturelles) (Photo Charles Khaly Kambale)

- Les savanes : végétation forestière anthropisée, sont essentiellement herbacées caractérisées par des graminées et des fougères : *Panicum maximum* Jacq., *Paspalum conjugatum* Berg., *Diodia sarmantosa* Sw., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.,

Dans le cadre de notre travail nous avons considéré les bosquets de forêt au sein des savanes ou des îlots de savane dans des étendues de forêt formant ainsi des mosaïques forêt-savane.



Photo 10: Groupements de reconstitution forestière (Savane herbacée ou mosaïque forêt-savane) (Photo Charles Khaly Kambale)

- Les friches herbeuses entourent les camps ou villages. Elles son dominées par les graminées (*Panicum* sp., *Paspalum* sp., *Cynodon dactilon* Pers, ...).



Photo 11: Groupements de reconstitution forestière (Friches herbeuses) (Photo Charles Khaly Kambale)

- Les jardins de case, (Kombele, 2004) : situés autour des maisons où sont pratiquées les cultures maraîchères, vivrières, fruitières, palmiers à huile spontanés, les arbres fruitiers, le manioc éléphant (*Manihot glaziovii* Muelle. Arg.), etc.

Les friches herbeuses et les jardins de case ensemble avec les camps et les villages constituent le type d'occupation du sol que nous avons dénommé complexe rural.



Photo 12: Jardins de case (Photo Charles Khaly Kambale)

### I.5.7. Activités et pression sur le paysage

La population autochtone de Yangambi vivait autrefois des produits de la chasse et d'une agriculture peu développée, et vers les années 1956, elle s'était organisée en paysannats agricoles. Sur les rives du fleuve sont installés les Lokelé. Commerçants originaires d'Aketi, sur l'Itimbiri, leurs activités les ont conduits par le fleuve jusqu'en amont de Stanleyville; ce sont dans la région les possesseurs de pirogues. Ils sont aussi pêcheurs soit

*Généralités sur l'écologie du paysage*

en eaux profondes soit dans les canaux pièges qu'ils organisent et entretiennent sur les îles depuis la naissance de celles-ci.

Bien que l'agriculture fût peu développée à cette période, néanmoins plusieurs plantations situées le long du fleuve étaient toutefois exploitées avec soin. Actuellement, la population est constituée en majeure partie de travailleurs de l'INERA qui se sont convertis en agriculteurs. Ceux-ci, vu la situation conjoncturelle que traverse ce centre de recherche, ont dû pratiquer l'agriculture en dévastant les réserves forestières afin de subvenir à leurs besoins.

Les paysans pratiquent essentiellement l'agriculture et la pêche. L'agriculture itinérante sur brûlis est la technique essentiellement pratiquée dans toute la région. Ce qui prédispose les forêts aux menaces d'extinction d'ordre anthropique.

## Matériels et méthodes

### II<sup>e</sup> partie : Matériels et méthodes

#### II.1 Données cartographiques

Sur base des collaborations multiples et d'acquis scientifiques récents dans le domaine de la Télédétection spatiale, l'unité de recherche en environnemétrie et géomatique de l'Université Catholique de Louvain a rassemblé des données cartographiques sur le territoire de la République Démocratique du Congo. Les données numériques existantes ont été contrôlées, mises à jour, enrichies à partir des sources disponibles (images satellitaires, photographies aériennes, cartographie de terrain) et intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG).

Des informations originales ont été produites en combinant les techniques les plus récentes d'observation de la terre par satellite et les connaissances de terrain. Ainsi, trois cartes de la République Démocratique du Congo ont été publiées en 2006 sous format papier et numérique aux échelles du 1:2.000.000 et du 1:3.000.000 à savoir :

- Une carte générale, éditée au 1:2.000.000, comprend toutes les informations cartographiques de base ;
- Une carte de l'occupation du sol, éditée au 1:3.000.000, représente l'utilisation actuelle du territoire ainsi que la diversité des formations végétales existantes ;
- Une carte de sites du patrimoine mondial et des aires protégées, éditée au 1:2.000.000, représente les parcs et réserves de la République Démocratique du Congo sur fond de carte générale dans un but d'information et de sensibilisation au patrimoine naturel du pays.

Dans le cadre de notre étude nous avons utilisé la carte de l'occupation du sol au format TIFF géoréférencé fournie par l'unité de recherche en environnemétrie et géomatique de l'Université Catholique de Louvain ainsi que les fichiers numériques correspondants en téléchargeant la classification de l'occupation du sol sur le site [www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/](http://www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/). Leurs caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1 .

## Matériels et méthodes

### II. 2 Méthodologie

Nous avons délimité notre zone d'étude qui est comprise entre les coordonnées 24° et 25° de longitude Est et entre 0° et 1° latitude Nord. Grâce aux fonctions de l'extension « *Image analysis* » du logiciel Arcview, nous avons fait un clip de cette zone sur la carte de l'occupation du sol produite par l'UCL. Pour l'explication détaillée des classes, voir site [www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/](http://www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/).

Cette carte a été par la suite vectorisée suivant la classification de la carte originale de l'UCL. La classification de taches a été générée par le logiciel Arcview 3.3, afin d'obtenir les différents polygones à partir desquels plusieurs paramètres ont été calculés (indices et paramètres statistiques) avec Excel et SPSS 12.0. Dans la classification, nous avons tenu compte de la carte générale dont les classes d'occupation du sol correspondent à une version simplifiée dérivée d'une série temporelle d'images satellites SPOT VEGETATION.

Ainsi notre zone est couverte par les 8 classes d'occupation du sol suivantes :

- Forêts denses (FD) ;
- Vieilles forêts secondaires (FSV) ;
- Jeunes forêts secondaires (FSJ) ;
- Forêts édaphiques (FE) ;
- Mosaïque forêt-savane (MF-S) ;
- Prairies aquatiques (PA) ;
- Complexe rural (CR) ;
- Agriculture (Agr).

Ces différents types ont été repartis en deux grandes classes, d'une part celle des "non forêts"(agriculture, complexe rural, prairies aquatiques) et d'autre part celle des "forêts"(forêts denses, vieilles forêts secondaires, jeunes forêts secondaires, forêts édaphiques, et mosaïque forêt-savane). Ces groupes ont été comparés à l'ensemble du paysage c.à.d aux "forêts" et "non forêts» toutes confondues de manière à mettre en évidence des classes qui dominent au sein du paysage.

**Matériels et méthodes**

*Fig. 5 République Démocratique du Congo : Localisation de la région de Yangambi.*

## Matériels et méthodes

Tableau 1 Données de base de la carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo utilisée dans le cadre de notre étude

Titre	Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo
Auteurs	J.-F. Pekel, C.Evrard, F.Malaisse et P.Defourny
Période d'acquisition	2000
Produit	UCL-Geomatics (Louvain-la-Neuve., Belgique) 2006
Echelle	1 :3.000.000
Type de fichier	Format TIFF géoréférencé
Localisation	République Démocratique du Congo
Dates de publication	2006
Publication	Presses Universitaires de Louvain, Unité de recherches et Environnement et Géomatique, Université Catholique de Louvain
Classes	<ul style="list-style-type: none"> <li>0. Eau</li> <li>1. Prairie aquatique</li> <li>2. Prairie marécageuse</li> <li>3. Forêts denses sur sols hydromorphes</li> <li>4. Forêts denses humides semi-décidue</li> <li>5. Forêts secondaires vieilles</li> <li>6. Forêts secondaires jeunes</li> <li>7. Complexe agricole en zone forestière</li> <li>8. Agriculture permanente</li> <li>9. Mosaïque forêt-savane</li> <li>10. forêt claire du type Miombo humide</li> <li>11. Savane boisée</li> <li>12. Savane arborée</li> <li>13. Savane arbustive</li> <li>14. Savane herbeuse</li> <li>15. Mosaïque savane-agriculture.</li> <li>16. Forêt de transition</li> <li>17. Forêt de montagne</li> </ul>
Langue	Français et Anglais

## Matériels et méthodes

### II.3. Analyse de la structure spatiale

Les paysages sont distingués par les relations spatiales entre leurs éléments. La structure du paysage est caractérisée par sa composition et sa configuration. Ces caractéristiques déterminent, indépendamment ou en combinaison, les processus écologiques à l'échelle du paysage (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002). Elles sont combinées pour parvenir à des résultats plus précis (Ducrot, 2005). Le paysage en tant qu'une mosaïque d'unités paysagères, les éléments retenus de cette mosaïque dans le cas de la carte utilisée sont les classes et les taches. Les classes correspondent aux différents types d'occupation du sol et sont caractérisées par « N patches », unités élémentaires du paysage (ou polygones).

Ainsi les métriques sont définies à trois niveaux hiérarchiques distincts : à celui de l'unité fonctionnelle, à celui de la classe et à celui du paysage lui-même. Ces métriques sont destinées à définir des caractéristiques pertinentes du point de vue écologique. La composition spatiale se réfère aux caractéristiques concernant la présence et l'abondance d'unités ou de types d'unités dans le paysage alors que la configuration se réfère à la distribution et à l'arrangement des unités dans l'espace (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002).

#### II.3.1 Niveau des taches

L'étude des taches dans l'espace correspond au niveau d'étude le plus élémentaire de l'analyse du paysage (Burel et Baudry, 2003). Les mesures de configuration relatives à l'aire et au périmètre ont été obtenues grâce à l'extension « patch analyst » du logiciel ArcView 3.3.

#### II.3.2 Niveau des classes

##### II.3.2.1 Indices de configuration spatiale

Les métriques de configuration spatiale retenues concernant l'aire et le périmètre sont calculées à tous les niveaux. Ce sont celles caractéristiques de la tache  $i$  pour la classe  $j$ , l'aire de la tache  $a_{ij}$ , le périmètre de la tache  $i$  pour la classe  $j$ ,  $p_{ij}$ . Le niveau classe représente l'ensemble d'une thématique qui compose le paysage. C'est à ce niveau que nous allons axer beaucoup d'attention étant donné qu'il caractérise la répartition de différents types d'occupation du sol de notre site. Sur ce, nous avons déterminé les caractéristiques

## Matériels et méthodes

pour chaque type d'occupation du sol par des descripteurs de la structure spatiale : indices de composition et de configuration spatiales.

### *Nombre de taches par classe*

Chaque classe est constituée d'un ensemble des taches dont le nombre est un indicateur important de l'état de fragmentation : si le nombre de tache est élevé, la fragmentation est maximale et dans le cas contraire, elle est faible. Le nombre d'UEPs donne par exemple une information sur la dispersion ou le morcellement. Ce nombre de taches a été obtenu en regroupant les taches ayant le même identifiant à partir de la table des attributs.

Cette table des attributs a été obtenue à l'aide de l'extension « patch analyst » du logiciel Arc View 3.3 et ensuite importée dans les logiciels Excel et SPSS pour les calculs d'autres indices en rapport avec l'aire et le périmètre ainsi que leur distribution. Le nombre de taches de la classe  $j$  est noté  $n_j$ . Le nombre de taches par classe ( $n_j$ ) est très important à prendre en compte car elle nous fixera sur l'état de fragmentation. En plus de cet indice, nous approfondirons l'analyse sur l'aire et le périmètre de chacune des classes du paysage.

### *Les indices en rapport avec l'aire des classes*

L'aire des classes est un indicateur de la fragmentation du paysage : si l'aire est grande, fragmentation est faible, et si elle est petite la fragmentation est importante. Elle a comme avantage d'être une mesure simple et fiable dont la comparaison dans le temps pourra être très pertinente (Milhé, 2003). La mesure de l'aire présente donc un aperçu global sur l'évolution de l'occupation du sol. L'aire totale,  $a_{tj}$  [km<sup>2</sup>] d'une classe  $j$ , est obtenue par une formule. L'aire totale  $a_{tj}$ , c'est la superficie totale occupée par une classe  $j$  donnée. Elle s'exprime en unité de mesure, ici en km<sup>2</sup> et se calcule comme suit :

$$a_{tj} = \sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \quad (1)$$

où  $a_{ij}$  est l'aire de la  $i$ -ème tache de la classe  $j$  et  $n$  est le nombre de taches de la classe  $j$ .

Les valeurs extrêmes des aires des classes; il s'agit de l'aire minimale  $a_{mm,j}$  qui correspond à l'aire de la plus petite tache et de l'aire maximale  $a_{max,j}$  qui est l'aire de la plus grande tache de la classe  $j$ .  $\forall i : a_{ij} \leq a_{max,j}$ , et  $\forall i : a_{ij} \geq a_{mm,j}$

## Matériels et méthodes

L'étendue de l'aire de la classe  $e_j(a)$ . Elle se calcule suivant la formule :

$$e_j(a) = \frac{a_{\max,j} - a_{\min,j}}{a_{\max,j}} \times 100 \quad (2)$$

L'étendue indique la variabilité entre les aires extrêmes de la classe  $j$ . Elle varie entre 0 et 100. Cet indice est sans unité et se rapproche de 100 quand la variabilité entre les deux valeurs extrêmes est grande. Plus l'étendue est faible, plus les tailles sont homogènes entre les taches. Les tailles entre les taches ne sont pas homogènes quand l'étendue est grande ou proche de 100. On a une seule tache lorsqu'elle est de 100.

La dominance  $L_j(a)$  représente la proportion d'espace ou d'aire qu'occupe la plus grande UEP dans sa la classe. Elle est utile lorsque les taches sont grandes et intéresse les classes contenant un nombre élevé d'UEPs. Le rapport de l'aire de la plus grande UEP sur l'aire du paysage permet de relativiser le rapport relatif à la classe. Si la tache dominante est très petite, alors le descripteur est proche de zéro. Par contre, s'il est égal à 100, donc l'ensemble de la classe n'est constitué que d'une seul UEP.

Elle se calcul par :

$$L_j(a) = \frac{a_{\max,j}}{a_{t,j}} \times 100 \quad (3)$$

Une seule tache peut occuper jusque plus de la moitié de l'aire totale d'une classe mais être insignifiant dans le paysage pris en entières.

L'aire moyenne  $a_{\text{moy},j}$  est la valeur moyenne de l'aire de la classe  $j$ . Elle est donnée par la formule :

$$a_{\text{moy}} = \frac{a_{t,j}}{n_j} \quad (4)$$

Où  $n_j$  représentent le nombre de taches totales de la classe  $j$ .

La médiane  $Me(a)$  est un nombre qui divise en deux parties l'échantillon, la population. Chaque partie contient le même nombre de valeurs. Donc, Elle partage la distribution en

## Matériels et méthodes

deux ensembles d'effectifs égaux : 50 % des valeurs lui sont supérieures et 50 % lui sont inférieures. Contrairement à la moyenne, la valeur médiane permet d'atténuer l'influence perturbatrice des valeurs extrêmes enregistrées lors de circonstances exceptionnelles. Ceci constitue la valeur moyenne de la classe.

Si la médiane est élevée, on a des grandes taches et la fragmentation est faible ; la fragmentation est maximale si la valeur de la médiane est faible et dans ce cas on a beaucoup de petites taches.

Le mode est la valeur la plus fréquente de la distribution des aires de la classe  $j$  obtenue à partir des histogrammes des fréquences. Quand le mode est élevé, on a des tâches de grande taille et la fragmentation est faible.

La variance,  $\sigma^2_j(a)$  [km<sup>2</sup>] représente la moyenne des carrés des écarts à la moyenne. Elle permet de caractériser la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Dans notre cas ici, elle nous situera sur l'hétérogénéité des taches dans la classe. Sa formule est :

$$\sigma_j^2(a) = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (a_{i,j} - a_{moy,j})^2 \quad (5)$$

Le Coefficient de variation  $CV_j(a)$  est un indicateur de dispersion. Il est égal au rapport de la racine carrée de la variance par la moyenne de la classe  $j$  :

$$C.V._j = \frac{\sqrt{\sigma_j^2(a)}}{a_{moy,j}} \quad (6)$$

Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Le coefficient de variation permet d'obtenir un indice général, indépendant des unités de mesure employées alors que la variance est un indice de dispersion sensible à la valeur moyenne et à l'unité de mesure utilisée. La prise en compte de ce coefficient est très importante car cela donne plus d'informations que la moyenne des taches, analysée seule. En effet, si deux classes possèdent la même valeur moyenne mais que la seconde a un coefficient de variation plus faible que première, cela signifie que les taches de la seconde sont plus homogènes alors que la première a des taches à surfaces très variables.

## Matériels et méthodes

Le taux de fragmentation de la classe  $j$  a été calculé par la formule :

$$F_j = \frac{n_j - 1}{m_j - 1} \quad (7)$$

Où  $n_j$  représente le nombre total des taches pour la classe  $j$  et  $m_j$  est généralement dans un fichier raster le nombre de pixels, mais étant donné que nous avons travaillé avec un fichier vecteur  $m_j$  a été estimé par le rapport:

$$m_j = \frac{a_{t_j}}{a_{\min.j}} \quad (8)$$

Où  $m_j$  est le rapport d'aire totale  $a_{t_j}$  de la classe  $j$  en fonction d'aire de la plus petite tache  $a_{\min.j}$ . Il varie de  $0 \leq F_j \leq 1$ . La classe est moins fragmentée si  $F_j$  est proche de 0 et fragmentée si  $F_j$  est proche de 1.

L'indice de morcellement s'obtient par la formule :

$$I_m = \frac{n_j}{a_{t_j}} \quad (9)$$

### *Les indices en rapport avec le périmètre des classes*

D'après Ducrot (2005) et Iorgulescu et Schlaepfer (2002), le périmètre des classes ne donne pas d'informations sur la composition spatiale du paysage. En revanche, associé aux indices, il indique la conformation de celui-ci. Les contours inter-UEPs (inter-classes) fournissent des indices sur le côtoisement des classes entre elles qui aide à comprendre la configuration spatiale du paysage mais ne donne aucune information d'ordre spatial.

En écologie du paysage une grande partie de l'importance accordée à la structure du paysage est liée à l'effet de frontière (l'effet de lisière en forêt) (Chen and Franklin, dans Iorgulescu et Schlaepfer, 2002). La somme des contours des taches est également liée à l'hétérogénéité du paysage. En effet plus un paysage est hétérogène, plus les contours

## Matériels et méthodes

deviennent prépondérants. Iorgulescu et Schlaepfer (2002) affirment aussi que la frontière totale pourrait être l'information la plus importante pour l'étude de la fragmentation.

Nous avons comme dans le cas des mesures surfaciques calculé un certain nombre d'indices. Périmètre total de la classe  $j$ ,  $p_{\Sigma j}$ ; c'est la somme totale des contours de chacune des taches d'une classe. Il se calcule suivant la formule :

$$p_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^{n_j} p_{i,j} \quad (10)$$

où  $p_{ij}$  est le périmètre de la tache  $i$  de la classe  $j$ . Les valeurs extrêmes de la classe  $p_{\max,j}$  et  $p_{\min,j}$ , qui sont respectivement le périmètre maximal et le périmètre minimal de la classe ;  $\forall i : p_{ij} \leq p_{\max,j}$  et  $\forall i : p_{ij} \geq p_{\min,j}$ .

L'étendue  $e_j(p)$  est donnée par la formule :

$$e_j(p) = \frac{p_{\max,j} - p_{\min,j}}{p_{\max,j}} \times 100 \quad (11)$$

Le périmètre moyen de la classe  $p_{\text{moy},j}$  est la valeur moyenne du périmètre des taches :

$$p_{\text{moy},j} = \frac{p_{\Sigma j}}{n_j} \quad (12)$$

où  $p_{ij}$  est le même que dans le (10) et  $n_j$  le nombre de taches de la classe  $j$ . Le périmètre moyen donne une indication du découpage de la classe. En effet, plus le périmètre moyen est petit, plus la classe est découpée (confirme l'indice de morcellement).

La variance du périmètre  $\sigma_j^2(p)$  :

$$\sigma_j^2(p) = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (p_{i,j} - p_{\text{moy},j})^2 \quad (13)$$

### Matériels et méthodes

La médiane  $Me(p)$  et le Coefficient de variation  $CV_j(p)$  qui donnent des informations sur la manière dont les valeurs de périmètres de taches sont dispersées dans une classe ; avec  $CV_j(p)$  qui est donné par la formule :

$$CV_j(p) = \frac{\sqrt{\sigma_j^2(p)}}{p_{moy,j}} \quad (14)$$

Les indices se référant au rapport Aire/ Carré du périmètre concernent dans le cas de notre étude les valeurs extrêmes et moyennes ainsi que quelques données statistiques (variance et coefficient de variation).

#### II.3.2.2. Indices de composition

Ces métriques ont été déterminées aussi bien pour l'aire que pour le périmètre des taches.

La cohérence de la classe  $C_j(a)$  est une mesure du degré de partition des aires continues en plusieurs petites fractions (Jaeger, dans Bamba, 2006). La valeur de  $C_j(a)$  est donnée par la formule :

$$C_j(a) = \sum_{i=1}^{n_j} \left( a_{i,j} / a_{z,j} \right)^2 \quad (15)$$

Cette valeur varie  $0 \leq C_j(a) \leq 1$ . La valeur élevée de  $C_j(a)$  indique qu'il y a peu de taches dans l'ensemble et que ces taches sont très disproportionnelles. Plus il y a de petites taches plus faible sera la valeur de la cohérence.

L'indice de diversité de Shannon  $H_j(a)$  basé sur la théorie de l'information (Shannon and Weaver Iorgulescu et Schlaepfer, 2002) est une mesure de la composition qui qualifie la diversité des types d'unités fonctionnelles au niveau soit de la classe, soit du paysage. C'est l'indice est influencé par deux composantes : la richesse et la régularité. La richesse représente le nombre de types d'unité fonctionnelle présentes dans le paysage (exemple :

## Matériels et méthodes

nombre de types d'utilisation du sol) et la régularité se réfère à la distribution de la surface des différents types d'unités fonctionnelles dans le paysage. Il se calcule suivant la formule :

$$H_j(a) = \sum_{i=1}^{n_j} \left[ \left( \frac{a_{ij}}{a_{\tau j}} \right) \ln \left( \frac{a_{ij}}{a_{\tau j}} \right) \right] \quad (16)$$

Où  $\ln$  représente le logarithme népérien. De tous les indices de diversité, la formule de Shannon est probablement l'indice le plus utilisé qui considère à la fois l'abondance et la richesse spécifique (Gray *et al*, dans Bamba, 2006). C'est l'indice d'entropie, il mesure l'incertitude. Certains auteurs (Stirn, 1981 ; Gray *et al*, 1992 dans Bamba, 2006) l'ont recommandée comme étant la meilleure expression de la diversité d'un biotope. La valeur de  $H_j(a)$  dépend du nombre de taches présentes, de leurs proportions relatives, de la taille de l'échantillon ( $a_{\tau j}$ ) et de la base de logarithme. Le choix de la base de logarithme est arbitraire (Valiela, dans Bamba, 2006).

Mais lorsqu'on compare des indices, la base utilisée doit être mentionnée et être la même. La valeur de cet indice croit avec le nombre et les types différents de taches. (McGarigal et Marks, dans Bamba, 2006). En un mot, cet indice est de valeur nulle si les classes sont occupées par une seule tache ou dans le cas du paysage pris en entier, d'une seule classe d'occupation du sol et une valeur élevée souligne les zones de contact entre les différentes taches ou classes d'occupation du sol. Dans le cas des classes, cet indice est utilisé pour mettre évidence la diversité au niveau des taches qui la constituent.

L'indice d'équitabilité de Pielou  $E_j(a)$  se calcule selon la formule :

$$E_j(a) = \frac{H_j(a)}{\ln n_j} \quad (17)$$

Où  $\ln n_j$  est la diversité maximale potentielle (ou  $H_{max}$ ). Les valeurs obtenues par le calcul de l'indice de diversité  $H_j$  permettent de calculer l'indice d'équitabilité ou de régularité ( $E$ ). Cet indice permet de comparer la diversité mesurée à la diversité théorique maximale (Pietro et Rico, dans Bamba). C'est-à-dire qu'il exprime dans un échantillon donné, le

## Matériels et méthodes

rapport de la diversité atteinte ( $H_j$ ) et la diversité maximale ( $H_{max}$  qui est le logarithme du nombre total d'espèces dans l'échantillon) pouvant être obtenue avec le même nombre d'individus (Frontier et Pichod-Viale, dans Bamba, 2006). Cet indice permet de comparer la diversité observée et la diversité maximale potentielle qui équivaut à  $H_{max}$  c'est à dire à  $\ln n_j$ . Il varie entre 0 (peuplement comprenant des taches dominantes) et 1 (très bon équilibre entre les aires des taches).

En somme, moins il y a de taches,  $C_j$  est élevée et sa valeur augmente pour des taches de tailles disproportionnées (dominance d'une tache); pour l'indice de Shannon, plus il y a de taches, plus  $H_j(a)$  est élevée et sa valeur décroît en mesure que les tailles sont disproportionnelles (dominance faible). Quand à  $E_j(a)$ , il décroît à mesure que les taches sont disproportionnelles ; cette valeur est de 1 si les taches ont toutes la même taille peu importe leur nombre.

En rapport avec le périmètre les indices de composition sont :

- La cohérence  $C_j(p)$  obtenue par la formule :

$$C_j(p) = \sum_{i=1}^{n_j} (p_{ij}/p_{\tau_j})^2 \quad (18)$$

- L'Indice de diversité de Shannon du périmètre  $H_j(p)$  :

$$H_j(p) = \sum_{i=1}^{n_j} \left[ \left( p_{ij}/a_{\tau_j} \right) \ln \left( p_{ij}/p_{\tau_j} \right) \right] \quad (19)$$

- L'équitabilité de Pielou  $E_j(p)$  se calcule suivant la formule :

$$E_j(p) = \frac{H_j(p)}{\ln n_j} \quad (20)$$

Où  $H_j(p)$  est défini dans le (19) et  $j \ln n$  est le logarithme népérien du nombre total de taches de la classe.

## Matériels et méthodes

### II.3.3 Niveau du paysage

L'analyse au niveau du paysage correspond à une étude d'ensemble d'un espace bien délimité. Les mesures effectuées sont d'ordre général. Elles donnent un aperçu de la structure du paysage mais ne permettent pas de définir les relations spatiales entre les différents éléments. Nous avons comparé les indices de configuration et de composition des ensembles des classes «forêts», «non forêts» et du paysage pris dans son ensemble.

*Les indices en rapport avec l'aire :*

L'aire totale de chacun des ensembles : c'est la somme des aires des classes qui les composent. Cet indice nous donne la superficie totale occupée par chacun des ensembles étudiés selon la formule :

$$a_{rk} = \sum_{i=1}^{n_k} a_{ik} \quad (21)$$

Où  $a_{ik}$  est de l'ensemble  $k$  et  $n_k$  est le nombre total des classes dans un ensemble.

Les valeurs extrêmes des aires des ensembles ; il s'agit de l'aire minimale  $a_{min,k}$  qui correspond à l'aire de la plus petite classe et de l'aire maximale  $a_{max,k}$  qui est l'aire de la plus grande classe de l'ensemble  $k$ .

L'étendue de l'aire de l'ensemble  $e_k(a)$ . Elle se calcule suivant la formule :

$$e_k(a) = \frac{a_{max,k} - a_{min,k}}{a_{max,k}} \times 100 \quad (22)$$

La dominance  $L_k(a)$  représente la proportion d'espace ou d'aire qu'occupe la plus grande classe dans sa l'ensemble. Elle se calcul par :

$$L_k(a) = \frac{a_{max,k}}{a_{rk}} \times 100 \quad (23)$$

## Matériels et méthodes

L'aire moyenne  $a_{moy,k}$  est la valeur moyenne de l'aire de l'ensemble  $k$ . Elle est donnée par la formule :

$$a_{moy,k} = \frac{a_{\tau k}}{n_k} \quad (24)$$

où  $n_k$  représentent le nombre de classes de l'ensemble  $k$ .

La médiane  $Me(a)$  est un nombre qui divise en deux parties l'échantillon, la population constitue la valeur moyenne de l'ensemble.

La variance,  $\sigma_k^2(a)$ , elle nous situera sur l'hétérogénéité des classes dans la classe. Sa formule est :

$$\sigma_k^2(a) = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (a_{ik} - a_{moy,k})^2 \quad (25)$$

Le coefficient de variation  $CV_k(a)$  est un indicateur de dispersion. Il est égal au rapport de la racine carrée de la variance par la moyenne de l'ensemble  $e$  :

$$CV_k(a) = \frac{\sqrt{\sigma_k^2(a)}}{a_{max,k}} \quad (26)$$

Le taux de fragmentation de l'ensemble  $e$  été calculé par la formule :

$$F_k = \frac{n_k - 1}{m_k - 1} \quad (27)$$

Où  $n_k$  représente le nombre total des classes pour l'ensemble  $k$  et  $m_k$  a été estimé par le rapport :

$$m_k = \frac{a_{\tau k}}{a_{m:n,k}} \quad (28)$$

La cohérence  $C_k(a)$  obtenue par la formule :

$$C_k(a) = \sum_{i=1}^{n_k} (a_{ik}/a_{\tau k})^2 \quad (29)$$

## Matériels et méthodes

L'indice de diversité de Shannon  $H_k(p)$  se calcule par :

$$H_k(a) = \sum_{i=1}^{n_k} -[(p_{ik}/a_{\tau k}) \ln(p_{ik}/p_{\tau k})] \quad (30)$$

L'équitabilité de Pielou  $E_k(a)$  se calcule suivant la formule :

$$E_k(a) = \frac{H_k(a)}{\ln n_k} \quad (31)$$

*Les indices en rapport avec le périmètre*

Périmètre total de l'ensemble k,  $p_{\tau k}$  ; c'est la somme totale des contours de chacune des classes d'un ensemble. Il se calcule suivant la formule :

$$p_{\tau k} = \sum_{i=1}^{n_k} p_{ik} \quad (32)$$

Où  $p_{ik}$  est le périmètre de la classe i de l'ensemble k.

Les valeurs extrêmes de la classe  $p_{\max.k}$  et  $p_{\min.k}$  qui sont respectivement le périmètre maximal et le périmètre minimal de l'ensemble.

L'étendue  $e_k(p)$  est donnée par la formule :

$$e_k(p) = \frac{p_{\max.k} - p_{\min.k}}{p_{\max.k}} \times 100 \quad (33)$$

La dominance  $L_k(p)$  est donnée par la formule :

$$L_k(p) = \frac{p_{\text{moy.k}}}{p_{\tau k}} \times 100 \quad (34)$$

## Matériels et méthodes

Le périmètre moyen de la classe  $p_{moy,k}$  est la valeur moyenne du périmètre des taches :

$$p_{moy,k} = \frac{p_{\tau k}}{n_k} \quad (35)$$

où  $p_{\tau k}$  est le même que dans le (32) et  $n_k$  le nombre de classes de l'ensemble  $e$ .

La variance du périmètre  $\sigma^2_k(p)$  :

$$\sigma_k^2(p) = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (p_{ik} - p_{moy,k})^2 \quad (36)$$

La médiane  $Me(p)$  et le Coefficient de variation  $CV_k(p)$  qui donnent des informations sur la manière dont les valeurs de périmètres de classes sont dispersées dans un ensemble ; avec  $CV_k(p)$  qui est donné par la formule :

$$CV_k(p) = \frac{\sqrt{\sigma_k^2(p)}}{p_{moy,k}} \quad (37)$$

La valeur de la cohérence,  $C_k(p)$  est donnée par la formule :

$$C_k(p) = \sum_{i=1}^{n_k} (p_{ik}/p_{\tau k})^2 \quad (38)$$

L'indice de diversité de Shannon  $H_k(p)$  se calcule suivant la formule :

$$H_k(p) = \sum_{i=1}^{n_k} [(p_{ik}/a_{\tau k}) \ln(p_{ik}/p_{\tau k})] \quad (39)$$

Où  $\ln$  représente le logarithme népérien.

L'équitabilité de Pielou  $E_k(p)$  se calcule suivant la formule :

$$E_k(p) = \frac{H_k(p)}{\ln n_k} \quad (40)$$

## Matériels et méthodes

Où  $H_k(p)$  est défini dans le (39) et  $\ln n_k$  est le logarithme népérien du nombre total de classes de l'ensemble.

Les proportions de l'aire,  $R_j(a)$  et du périmètre,  $R_j(p)$  de chaque classe dans le paysage s'obtiennent par les formules :

$$R_j(a) = \frac{a_{tj}}{a_{tk}} \times 100 \quad (41)$$

et

$$R_j(p) = \frac{p_{tj}}{p_{tk}} \times 100 \quad (42)$$

où  $a_{tj}$ ,  $a_{tk}$ ,  $p_{tj}$ , et  $p_{tk}$  sont respectivement les même que dans les formules (1), (21), (10) et (32)

### Résultats et discussion

➤ Le niveau englobant est l'échelle ou étendue de description globale du paysage. Pour finir, on peut aussi faire varier le pas de description locale du paysage. Dans le meilleur des cas, le paysage est décrit localement en tout point : le pas égal la taille du pixel, ou bien le paysage est défini de façon plus éparse. Musik et Grover (1991) assimilent ce pas à un filtre appliqué au phénomène observé : un pas trop grand peut éliminer ou au moins brouiller l'information sur la structure spatiale à certaines échelles locales de description.

Ainsi, les relations spatiales entre les éléments qui en résultent différentient les paysages. D'où, l'importance de la cartographie des unités, de la télédétection et des SIG comme méthodes appropriées dans la description de la structure de la région forestière de Yangambi.

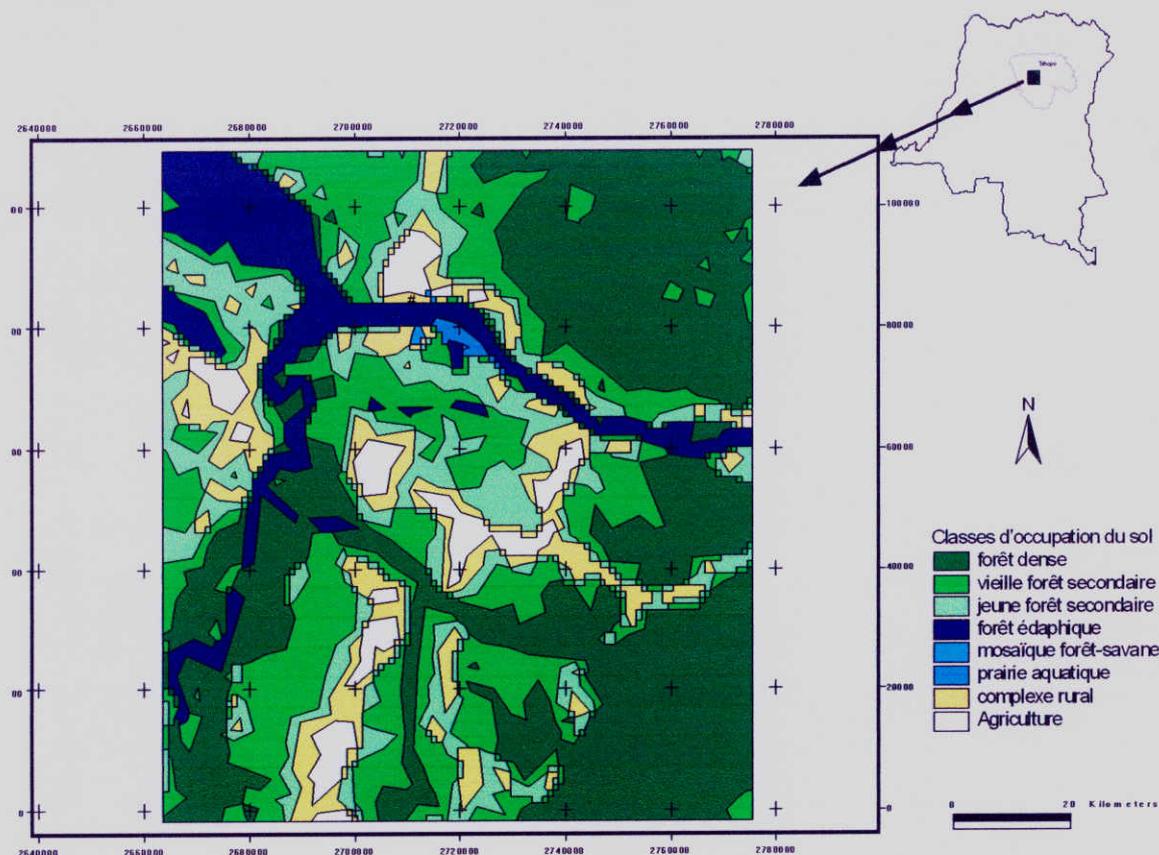


Fig.6 : Carte de classes d'occupation du sol de la région de Yangambi.

**III.1 .2.1 Niveau des taches**

Les résultats des mesures pour les aires et les périmètres des taches ont été obtenus sous forme de distribution cumulative. L'importance de cette méthode est qu'elle prend en compte la totalité des taches d'une carte. Elle est pertinente d'autant plus que les classes de fréquence, sources de perte d'informations, ne sont d'aucun intérêt. Nous avons déterminé la fréquence relative pour chaque tache qu'on a dû cumuler avec les fréquences des points précédents. Ce qui par la suite permet de tracer les courbes dont l'allure informe sur les types de taches présentes dans la classe ou dans le paysage toutes classes confondues et fait ressortir les zones de concentration et de dispersion des valeurs de la distribution de types de taches.

La zone de concentration des valeurs est caractérisée par une forte pente due aux nombreuses petites taches. Ainsi, plus il y a des petites taches, plus le seuil de 100 % est atteint précocement, alors le plateau apparaît au niveau de la courbe. Quant à la zone de dispersion des valeurs, elle est manifestée par une faible pente, pendant que le replat représente la discontinuité preuve d'une distribution multimodale (la distribution comporte plusieurs modes et le mode principale est différent de la moyenne et de la médiane).

**III.1.2.1.1. Distribution des aires des taches**

La distribution des aires des taches est représentée par l'évolution des courbes des fréquences cumulées en fonction des aires de taches pour chaque classe et pour l'ensemble du paysage (figures 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15 ). Elles permettent de localiser les zones de concentration et de dispersion des valeurs de la distribution des aires de taches. En effet, les courbes ont des évolutions différentes.

Hormis la classe Prairie aquatique dont la courbe présente directement un plateau, certaines ont presque la même convexité dont la pente forte caractérise une zone de concentration des valeurs, soit plus de 90% ont de taches ont des aires inférieures à 50 km<sup>2</sup>. Ce qui se confirme au sein du paysage toutes classes confondues. Notons toute fois que particulièrement pour la classe mosaïque forêt-savane, plus de 60% de taches ont une aire de moins de 1km<sup>2</sup>.

Résultats et discussion

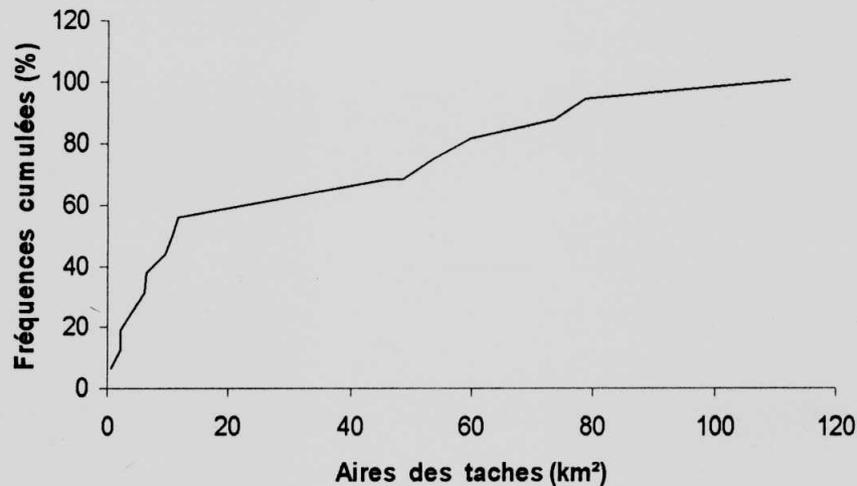


Fig.7 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Agriculture. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution de taches de petites tailles, soit plus de 50 % de taches ont des aires inférieures à 15 km<sup>2</sup>.

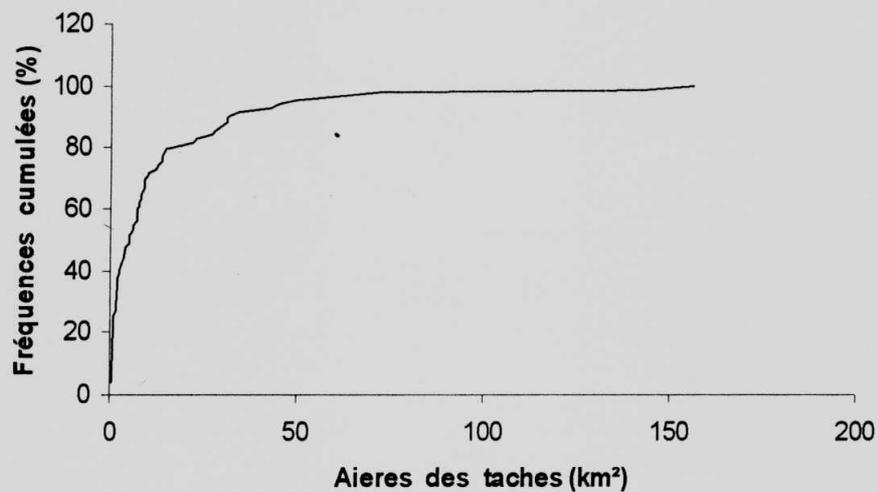


Fig.8: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Complexe rural. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont un périmètre inférieur à 50 km<sup>2</sup>.

Résultats et discussion

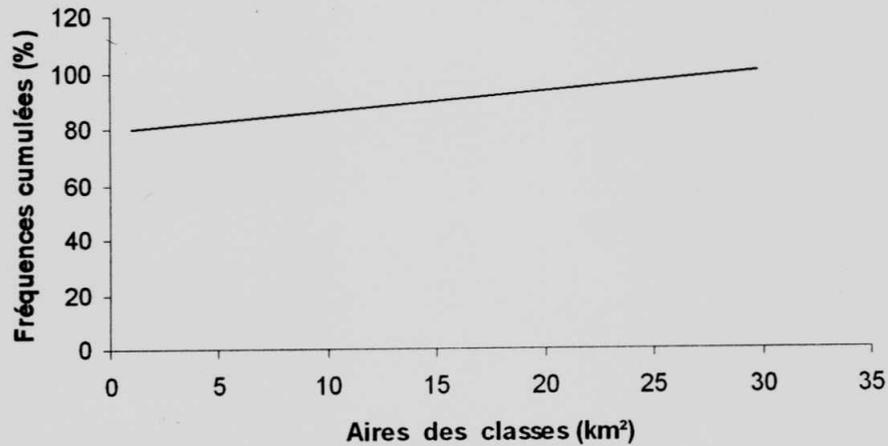


Fig.9: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Prairie aquatique. La courbe est une droite oblique continue signalant une distribution multimodale (la distribution comporte plusieurs modes, et le mode principal est différent de la moyenne et de la médiane).

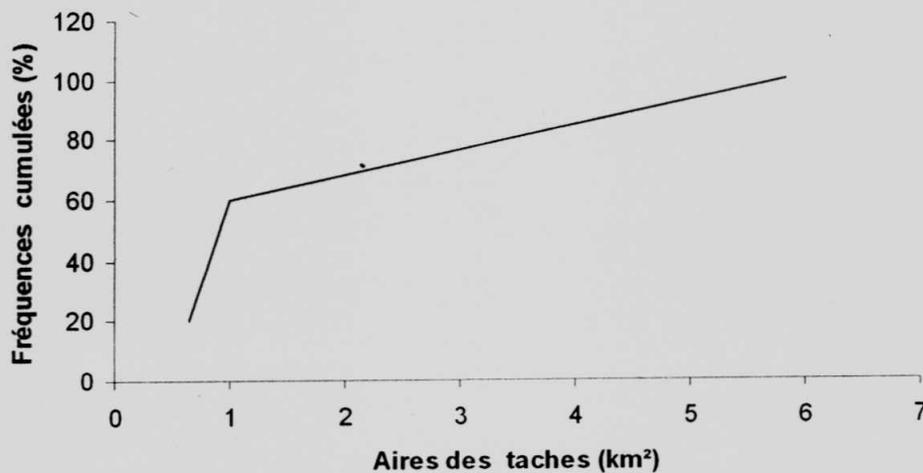


Fig.10: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Mosaïque forêt- savane. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 60 % de taches ont des aires égales à 1 km<sup>2</sup>.

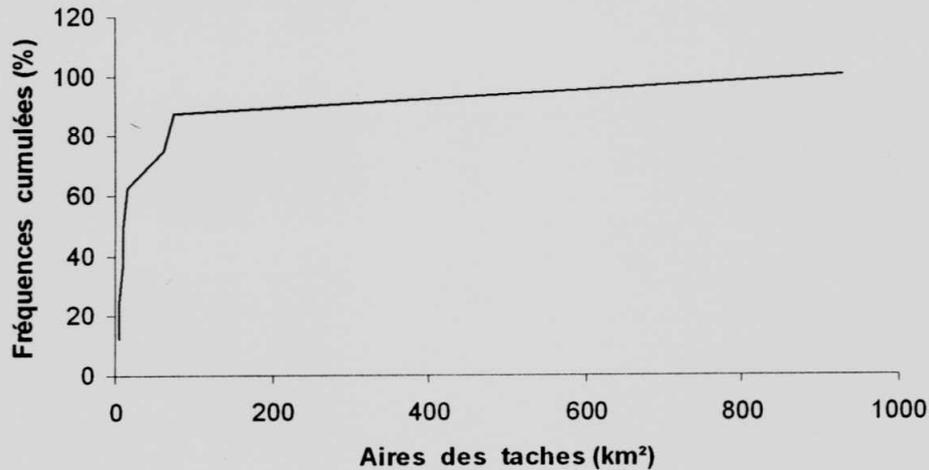


Fig.11 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt édaphique. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 40 km<sup>2</sup>.

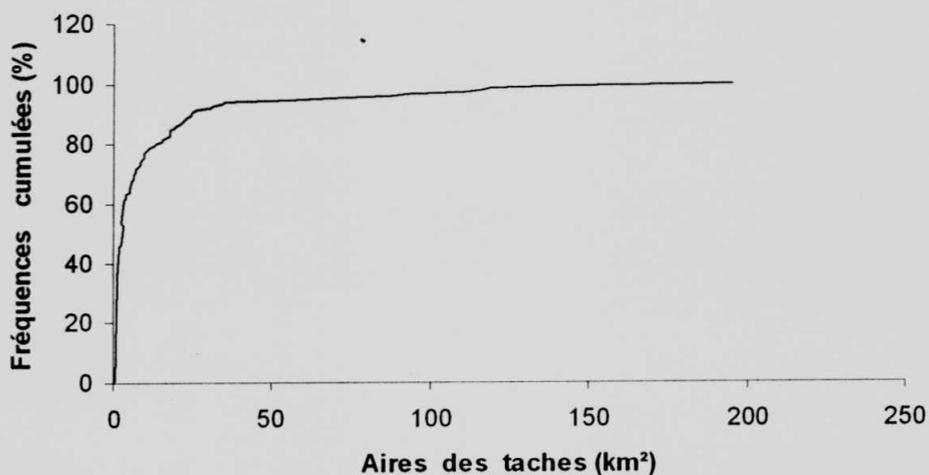


Fig.12: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt secondaire jeune. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 45 km<sup>2</sup>.

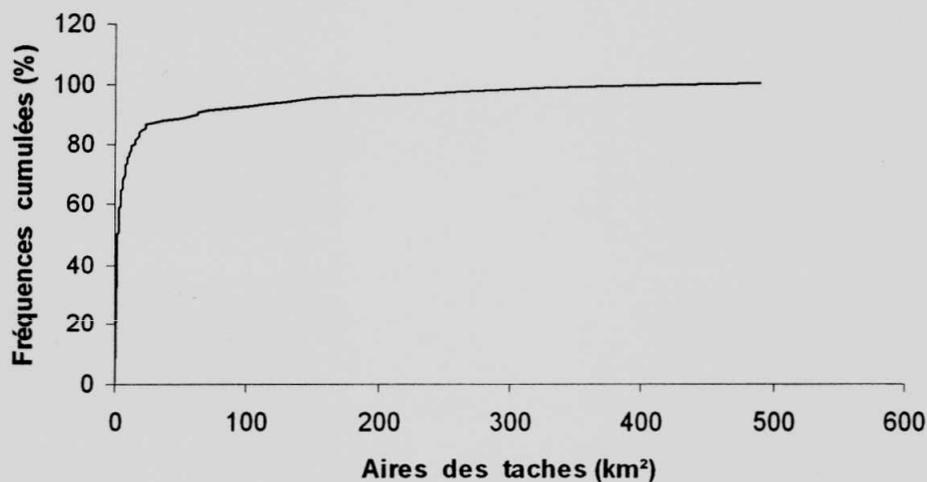


Fig.13: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Forêt secondaire vieille. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 80% de taches ont des aires inférieures à 30 km<sup>2</sup>.

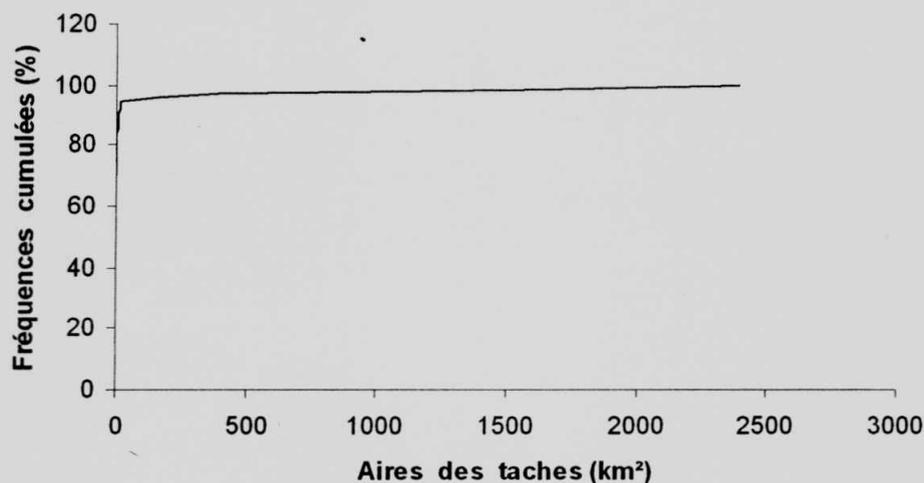


Fig.14: Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour la classe Fort dense. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 50 km<sup>2</sup>.

### **III<sup>e</sup> partie : Résultats et discussion**

#### **III.1 Résultats**

##### **III.1.1 Traitement des données cartographiques**

Du traitement des données numériques de la carte d'occupation du sol de la RDC, découle celle d'une région forestière de Yangambi dont les résultats sont repris dans la fig 6.

On constate que sur la carte la matrice est formée par les forêts denses et les vieilles forêts secondaires, vu que la somme de leurs proportions d'aires dépasse 60% de la superficie totale du paysage (Schlaepfer, 2006). Les autres types d'occupation se présentent comme des petites taches baignant dans la matrice. Généralement pour tout le paysage, la structure est caractérisée par de nombreuses taches de petite taille en majorité inférieure à 50 km<sup>2</sup>. D'où, une remarquable fragmentation de la zone d'étude.

##### **III.1.2 Analyse de la structure spatiale**

Comme nous en avons fait allusion précédemment, pour un paysage caractérisé par des valeurs discrètes non ordonnées, la structure spatiale rend compte de la taille et de la forme des différents éléments du paysage, ainsi que de leur arrangement, pour une même classe d'éléments et entre classes. Des indices de diversité, de fragmentation, de nombre et de taille des différents types de taches ont ainsi été définis pour caractériser la structure spatiale (Forman, 1995 ; Burel et Baudry, 1999).

Nous distinguerons ici 3 niveaux emboîtés de taille d'espace pour caractériser la structure spatiale d'un paysage :

- Le plus petit niveau (la tache) (correspond à la résolution ou grain d'acquisition des données, c'est-à-dire à la taille minimum d'un élément du paysage distinguable d'un autre élément jugé différent pour le phénomène d'intérêt. Cette taille peut être choisie en fonction des éléments étudiés selon les moyens techniques disponibles) Dans ce qui suit, ce sera la taille de l'UPE de notre carte qui représente le paysage ;
- Le niveau au-dessus (la classe) est l'échelle ou étendue de description locale du paysage ;

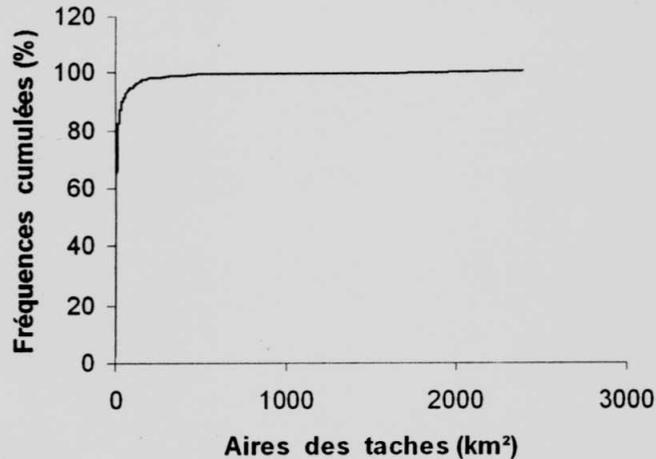


Fig.15 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des aires pour l'ensemble du paysage. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petites tailles, soit 90% de taches ont des aires inférieures à 50 km<sup>2</sup>.

#### III.1.2.1.2. Distribution des périmètres des taches

On peut noter que l'allure pour toutes les courbes de distribution des fréquences cumulées des taches pour chaque classe et pour l'ensemble du paysage en fonction des périmètres (figures 16, 17, 18, 19, 20,21, 22 et 23 ) est très proche de celles en fonction des aires des UEPs. Globalement, les courbes sont convexes et la pente forte caractérise la concentration de taches de périmètres courts, soit plus de 90% ont des périmètres inférieurs à 50 km.

Les résultats au sein du paysage pris dans l'ensemble corroborent ce constat. Exceptionnellement dans la classe de prairies aquatiques, la courbe se présente en droite oblique pendant que pour le type mosaïque forêt-savane la pente est relativement forte (+75%) correspondant aux périmètres de moins de 5 km.

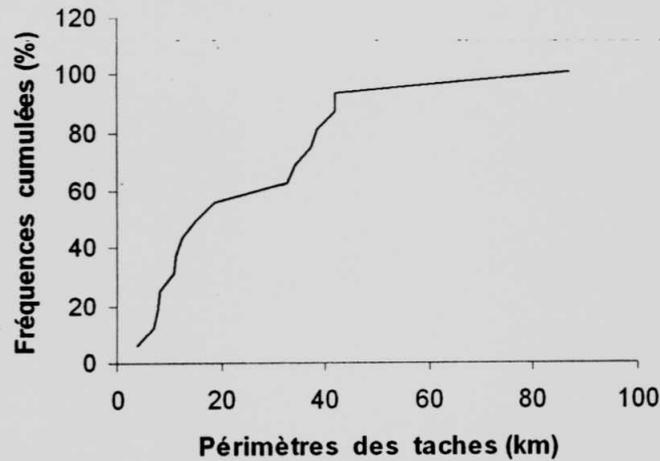


Fig.16 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Agriculture. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

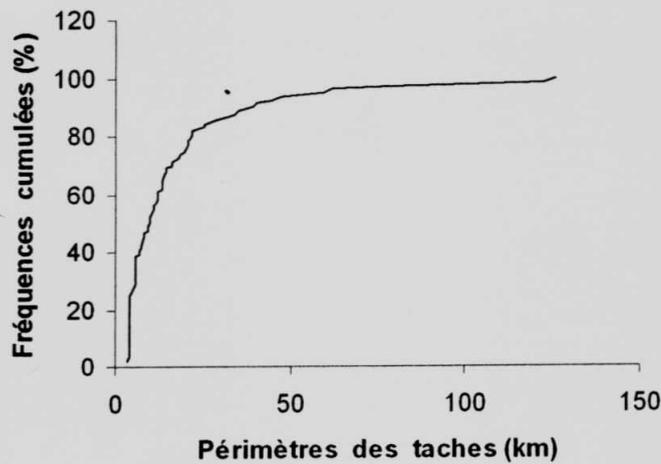


Fig.17 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Complexe rural. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

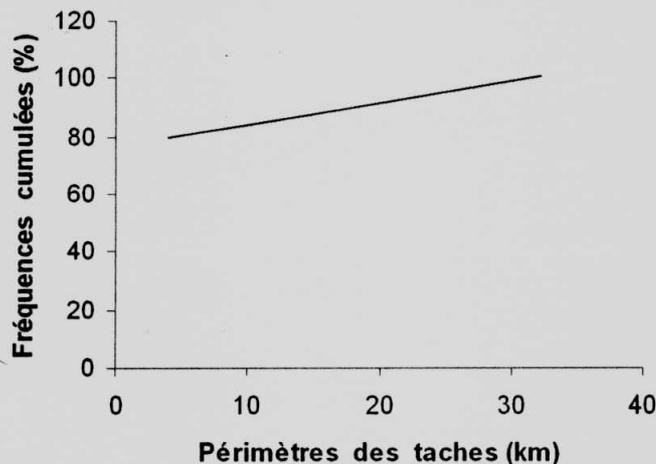


Fig.18 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Prairie aquatique. La courbe est une droite oblique continue tendant vers un plateau signalant une distribution multimodale (la distribution comporte plusieurs modes, et le mode principal est différent de la moyenne et de la médiane).

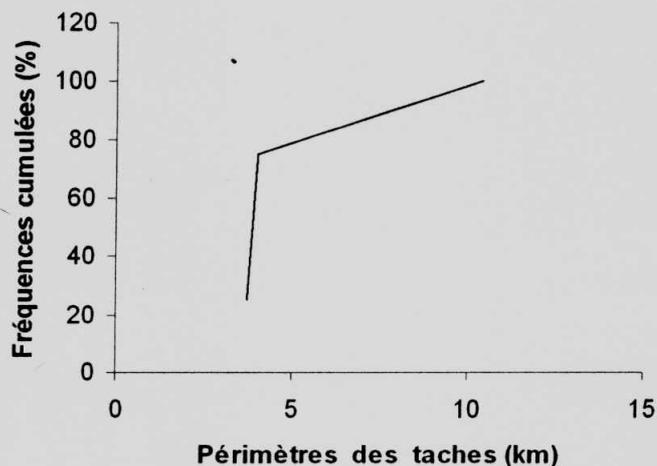


Fig.19 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Mosaïque forêt-savane. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 75 % de taches ont de périmètres inférieurs à 5 km.

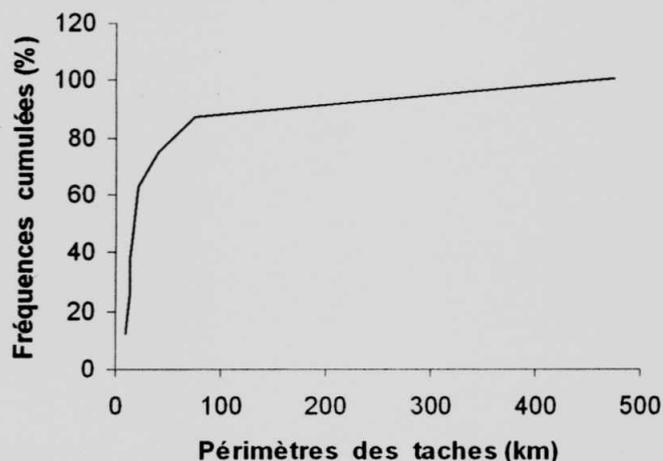


Fig.20 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Forêt édaphique. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 90 km.

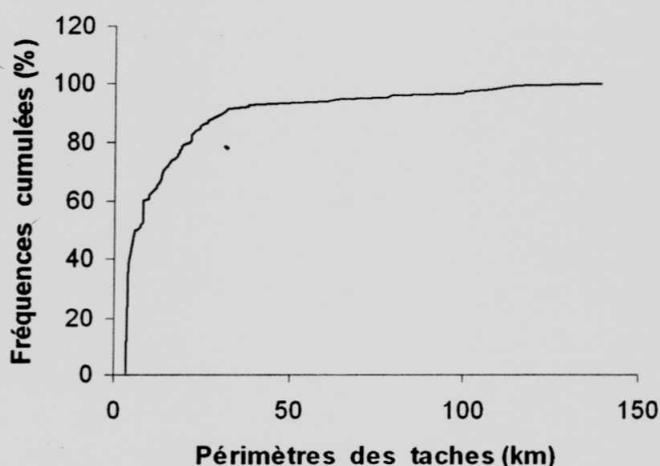


Fig.21 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Jeune forêt secondaire. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

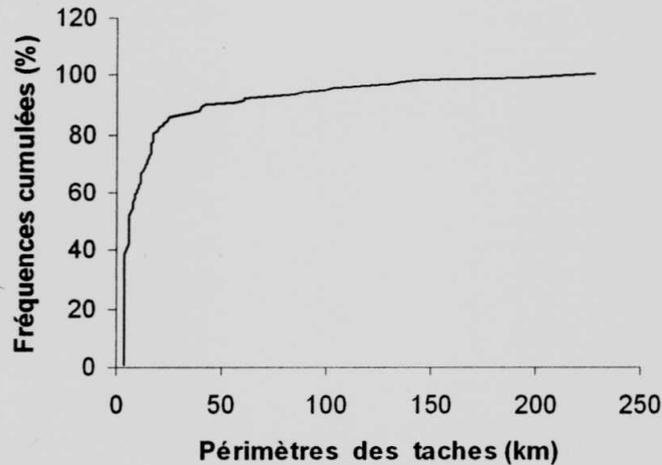


Fig.22 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe Vieille forêt secondaire. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90 % de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km

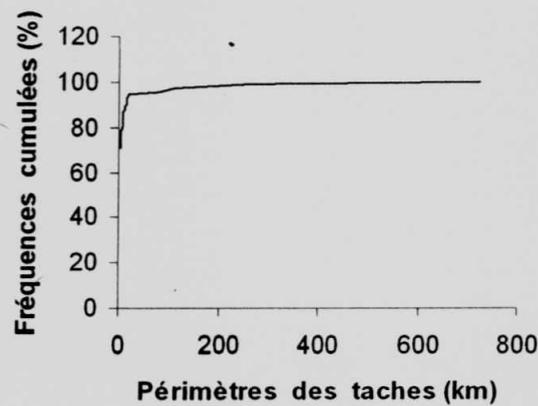


Fig.23 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour la classe forêt dense. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

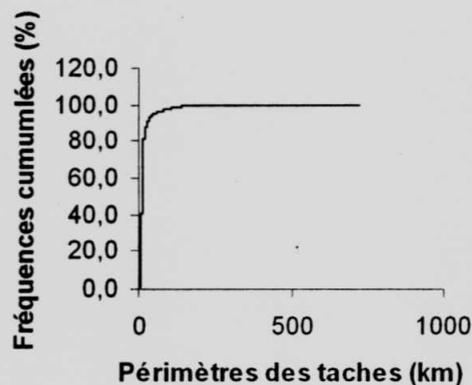


Fig.24 : Courbe des fréquences cumulées des taches en fonction des périmètres pour l'ensemble du paysage toutes classes confondues. La pente forte caractérise la concentration des valeurs de la distribution des taches de petits périmètres, soit plus de 90% de taches ont de périmètres inférieurs à 50 km.

### III.1.2.2. Niveau des classes

#### *Nombre de taches*

Les résultats en rapport avec le calcul de nombres de taches par classe sont présentés dans le tableau 2. A la lumière de ces résultats, il se dégage deux groupes de taches se répartissant équitablement le nombre de classes :

1. Un groupe de petit nombre de taches formé des classes d'agriculture (Agr), de prairie aquatique (PA), de mosaïque forêt-savane (MF-S) et des forêts denses (FE) - variant entre 4 et 16 ;
2. Un autre groupe constitué de quatre autres classes dont le complexe rural (CR), les forêts secondaires jeunes (FSJ), les forêts secondaires vieilles (FSV) ainsi que forêts denses (FD). Le nombre est quasiment 4 fois plus élevé que celui du premier groupe.

On remarque le plus petit nombre de taches, soit 4 pour la classe MFS et le plus grand (135) pour la classe FSJ. La fragmentation serait plus intense pour les classes de forêts secondaires jeunes et vieilles dont le nombre de taches  $n_j$  est respectivement de 135 et 119

*Résultats et discussion*

suivies de CR (82) et de FD (74). Elle est faible pour les classes MF-S, PA et PE avec des valeurs de  $n_j$  respectivement de 4, 5 et 8.

Tableau 2. Nombre de taches par classe d'occupation

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$n_j$	16	82	5	4	8	135	119	74

*Indices en rapport avec l'aire des classes*

Les valeurs des indices des aires extrêmes des taches dans les classes d'occupation du sol sont consignées dans le tableau 3. Ces valeurs nous ont permis de déterminer les proportions de l'étendue des taches maximales mais aussi la dominance.

Il se dégage une très grande variabilité entre les tailles des taches des classes. L'aire maximale,  $a_{max,j}$  varie de 5,8 km<sup>2</sup> dans la classe MF-S à 2389,4 km<sup>2</sup> dans la classe de FD, soit presque deux fois supérieure à la somme des aires maximales de toutes les autres classes. L'aire minimale est comprise entre 0,6 (dans les classes Agr, CR, MF-S, FSJ et FSV) et 4,07 km<sup>2</sup> (FE). La classe FE est suivie des classes PA et FD pourvues d'une aire minimale similaire de 1km<sup>2</sup>. Dans l'ensemble des classes, l'étendue des taches dans les classes,  $e_j$  est très grande et proche de 100 %. Il y a donc une très grande variabilité entre les aires des taches extrêmes. La valeur la plus faible de cet indice se trouve dans la classe MF-S, soit 89 % alors que pour d'autres classes elle est plus de 96 %.

La dominance des UEPs de grande taille est très variable entre les classes. Pour certaines classes (Agr, CR, FSJ, FSV) elle est faible de moins de 22% alors que pour d'autres (PA, MFS, FE) elle s'avère très élevée, soit plus de 80%. Particulièrement pour les FD, l'aire maximale domine à plus de 50% de l'aire totale de la classe. La dominance est faible au sein des classes FSJ, FSV, CR et moyenne dans la classe FD et MF-S. Cela confirmerait la fragmentation constatée par rapport au nombre de taches. Egalement, élevée qu'elle soit, la dominance soulignerait une faible fragmentation au sein des classes PA, MFS et FE.

Tableau 3. Indices se rapportant aux valeurs extrêmes des aires des classes

Paramètres	Agr	CR	PA	MF S	FE	FSJ	FSV	FD
$a_{max,j} [km^2]$	112,3	156,0	29,8	5,8	927,9	195,0	490,4	2389,4
$a_{min,j} [km^2]$	0,6	0,6	1	0,6	4,07	0,6	0,6	1
$e_j (a) [\%]$	99,4	99,6	96,6	89	99,6	99,7	99,9	99,9
$L_j (a) [\%]$	21,4	13,7	88,2	68,8	83,6	11,1	15,7	50,6

Dans le tableau 4, nous résumons les valeurs statistiques relatives aux mesures surfaciques des classes d'occupation du sol. Les aires des classes sont très variables et nous remarquons que c'est la classe des forêts denses (FD) qui a la superficie la plus élevée, soit 4724 km<sup>2</sup> des forêts secondaires (vieilles: 3128,5 km<sup>2</sup> et jeunes: 1761 km<sup>2</sup>). Les classes MF-S et PA sont les moins vastes de toutes et occupent respectivement 8,5 km<sup>2</sup> et 33,8 km<sup>2</sup>.

Les valeurs moyennes des aires sont différentes d'une classe à l'autre. Elle varie entre 2,1 km<sup>2</sup> dans la classe MF-S et 138,8 km<sup>2</sup> dans la classe FE et sont également différentes de la valeur médiane.

En effet, en comparant les valeurs centrales (tableau 4) définissant la forme des distributions des taches des classes, il s'avère qu'elles diffèrent les unes des autres. Par ailleurs, on constate qu'elles sont généralement unimodales dissymétriques à gauche (mode < médiane ≤ moyenne). Ceci montre qu'il y a une concentration des valeurs faibles (petites taches). En somme, ce sont les valeurs centrales des classes FE, FD et FSV qui sont particulièrement les plus intéressantes en ce qui concerne les potentialités de conservation (138,8 km<sup>2</sup>, 63,8 km<sup>2</sup> et 26,3 km<sup>2</sup>)

Le coefficient de variation est le plus faible pour la classe FD. Ce qui amène à dire que les aires des taches tournent autour de la moyenne. Inversement pour l'ensemble d'autres

### *Résultats et discussion*

classes, les valeurs élevées de cet indice  $CV_j(a)$  indiquent que les aires sont très dispersées autour de la moyenne et il y a une grande hétérogénéité des aires des taches. La variance étant élevée pour les classes autres que celle des PA et des MF-S, on lit une grande alternance (variabilité) au sein de ces classes et la présence de grandes et petites taches. La valeur  $\sigma_j^2(a)$  faible dans MF-S et PA seraient due à la présence des grandes taches et d'une faible fragmentation.

La fragmentation de la FD n'y est pas maximale, plutôt moyenne (0, 5). Le taux de fragmentation  $F_j$  corrobore la résultante du nombre assez élevé des taches, de la dominance, de la médiane, du mode, de la variance et du  $CV$ . Il semble être faible et tend à s'annuler surtout pour les classes d'Agr, de CR, de FE, de FSJ et de FSV. Ceci pourrait s'expliquer par la dominance de grandes tailles présentes dans chacune des classes. Précédemment on a constaté que les classes des forêts secondaires confondues et de complexe rural étaient caractérisées par des nombres élevés des taches.

Ce qui impliquerait aussi un seuil élevé de fragmentation. Paradoxalement, la médiane, la variance, le coefficient de variation et le taux de fragmentation ne confirment pas la tendance à une fragmentation intense bien que cela s'expliquerait par le nombre élevé des taches et la dominance de la plus grande UEP et le mode comparativement à la classe des FD.

L'indice de morcellement est variable est généralement faible et oscille entre 0, 01 (MF-S) et 0,47 (FE). C'est indice contredit l'observation faite et selon laquelle la classe FD serait la plus fragmentée de toutes. Néanmoins il confirme le taux de fragmentation de la classe PA.

Tableau 4. Statistiques des mesures surfaciques

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$a_{ij} [km^2]$	526.4	1140.0	33.8	8.5	1110.2	1761.0	3128.4	4724.0
$a_{moy,j} [km^2]$	32.9	14.0	6.8	2.1	138.8	13.0	26.3	63.8
$Me_j (a) [km^2]$	11.3	5.1	1	1	13.4	2.7	2	1
$Mo_{j(a)} [km^2]$	0.6	1	1	1	4.1	1	1	1
$\sigma^2_j (a) [km^2]$	1222	669	166	6	102413	838	5585	112804
$CV_j (a) [\%]$	94.1	53.8	52.4	85.4	43.4	45.1	35.2	19
$F_j$	0.01	0.04	0.12	0.24	0.02	0.04	0.02	0.5
$Im$	0.03	0.07	0.15	0.01	0.47	0.08	0.04	0.02

Le tableau 5 reprend les indices de diversité des classes qui renseignent sur les aires et les types de taches présentes dans les classes.

Au regard des ces résultats, on note dans l'ensemble que la cohérence des classes,  $C_j (a)$  est faible. Elle s'avère particulièrement encore plus faible pour le groupe de classes CR, FSJ, FSV, FD. Cela explique qu'ils ont un nombre élevé des taches. En outre, la valeur élevée de  $H_j (a)$  corrobore ce constat. Ces deux observations expliquent la variabilité au sein de ces classes confirmée par le nombre élevé des taches et quelques données statistiques (variance et coefficient de variation). En plus, avec la valeur d' $E_j (a)$  (0,65) les taches sont à peu près équitables entre elles, exception faite pour la classe des FD dont les taches sont presque aussi disproportionnelles que pour PA et FE.

En effet, la relation de proportionnalité entre ces indices se confirme. Soulignons aussi que les valeurs de la dominance corroborent ce constat car plus il y a beaucoup de taches, plus  $H_j (a)$  est élevé et moins est la dominance. Particulièrement la cohérence  $C_j (a)$  de la classe

### Résultats et discussion

forêts secondaires jeunes est aussi faible et tendant vers zéro que pour d'autres classes du groupe. Bien que n'étant pas la plus faible de toutes, elle implique tout de même que cette classe possède le plus grand nombre de taches et la valeur la plus élevée de  $H_j(a)$  corrobore ce constat. En outre, la valeur  $E_j(a)$ , (0,75) montre que les taches de cette classe sont assez équitables entre elles.

Le reste des classes constitue le groupe des classes au petit nombre de taches. Cette observation s'expliquerait par la cohérence un peu plus élevée par rapport au premier groupe. Les valeurs faibles de  $H_j(a)$  et  $E_j(a)$  soulignent ce constat. Exceptionnellement pour la classe Agr, la valeur la plus élevée d' $E_j(a)$  (0,8) observée démontre que les taches de cette classe sont équitables entre elles malgré sa cohérence un peu plus élevée et le nombre de taches inférieur à celui du second groupe.

Tableau 5. Indices de diversité des classes

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$C_j(a)$	0,000 4	7,69E- 07	0,008 7	0,005 7	0,000 2	2,32E- 06	1,02E- 07	4,48E- 08
$H_j(a)$	2,2	3,5	0,5	1,0	0,7	3,7	3,1	1,3
$E_j(a)$	0,8	0,79	0,32	0,69	0,32	0,75	0,65	0,29

### Indices en rapport avec les périmètres des classes

Le tableau 6 récapitule les résultats des calculs pour les valeurs extrêmes des périmètres des taches dans les différentes classes d'occupation du sol. Leurs dominance et étendue ont pu être calculées. On constate que les valeurs extrêmes des contours des taches sont variables entre les classes. Globalement, les valeurs maximales du périmètre des classes varient entre 10,4km et 723,7km. Ce qui prouve une grande variabilité des valeurs extrêmes des périmètres des taches dans toutes les classes.

En effet, les valeurs maximales élevées sont observées dans les classes FD et FE suivies de FSV, de FSJ et de CR. C'est la première classe qui a le périmètre le plus élevé, soit à 723,7

**Résultats et discussion**

km avec une dominance de plus de 45 % du périmètre total de cette classe. Les valeurs minimales du périmètre sont également variables et oscillent entre 3,7km (Agr, CR, MF-S, FSJ, FSV) et 9,2km (FE).

Notons que les classes FD et PA avec  $p_{min,j}$  similaire et équivalent à 4km viennent après FE.

L'étendue du périmètre des taches est relativement très grande (supérieure à 95 %) pour la plupart des classes. Par conséquent, il y a une remarquable hétérogénéité détaillée entre les contours des taches quand bien même on constate de faibles valeurs de cet indice 64 % et 87,6% respectivement pour les classes MF-S et PA qui seraient dues aux valeurs élevées du périmètre minimum  $p_{min,j}$  et aux valeurs faibles du périmètre maximum,  $p_{max,j}$ . Egalement, la dominance de l'UEP ayant le plus grand périmètre est variable d'une classe à l'autre. Elle varie de 6,4 à 94,4%.

La valeur maximale du périmètre de la classe FSV domine à 90% suivie de FE, PA, et FD. C'est dans les classes FSJ et CR que cet indice est le plus faible.

Tableau 6. Indices relatifs aux valeurs extrêmes de périmètres des classes

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$p_{max,j}$ [km]	86,7	125,7	32,2	10,4	475,9	138,8	227,6	723,7
$p_{min,j}$ [km]	3,7	3,7	4	3,7	9,2	3,7	3,7	4
$e(p)$ [%]	95,7	97,0	87,6	64,0	98,1	97,3	98,4	99,4
$L(p)$ [%]	21,3	8,8	66,8	47,0	71,5	6,4	94,4	45,9

Le tableau 7 montre les différentes valeurs des données statistiques en rapport avec les mesures du périmètre des classes. Les périmètres des classes s'avèrent très variables d'une classe à l'autre. Ils varient de 22,1km (MF-S) à 2410,6km (FSV). Cette dernière classe est suivie de FSJ, de FD, et de CR. Les périmètres moyens sont également différents d'une

*Résultats et discussion*

classe à l'autre et compris entre les extrêmes : 5,5 km (MF-S) et 83km (FE). Ces valeurs sont supérieures à la valeur médiane aussi variable entre les classes.

Cela démontre une concentration des taches pour des valeurs faibles (périmètres courts) et une dispersion pour les valeurs fortes (périmètres longs) autour de la moyenne. Ainsi, les classes MF-S et PA s'avèrent les plus morcelées à cause de leurs périmètres moyens très courts respectivement de 5,5 km et 9,6 km. L'indice de morcellement confirme ce constat au sein de la classe PA bien que cette classe soit relativement fragmentée. ( $F_j$  équivaut à 0,12).

La variance est plus grande pour les classes FE, FD, FSV, FSJ et CR. Cela prouve aussi une grande variabilité de périmètres au sein de ces classes.

Le coefficient de variation est très variable entre les classes et oscille entre 23,8 et 170,2 %. Les valeurs plus faibles de cet indice sont notées dans les classes FD, FE et forêts secondaires toutes confondues aussi bien pour les périmètres que pour les aires. Le coefficient de variation relativement plus élevé dans le reste des classes indique en plus d'une très grande variabilité, la dispersion de leurs périmètres autour de la moyenne.

Tableau 7. Tableau récapitulatif des statistiques des mesures des périmètres

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$p_{ij} [km]$	407,0	1428,7	48,2	22,2	666,1	2161,3	2410,6	1575,0
$p_{moy} [km]$	25,4	17,4	9,6	5,5	83,3	16,0	20,3	21,3
$Me_j [km]$	16,8	10	4	4	18,9	7,0	6	4
$\sigma_j^2 (a) [km^2]$	460,5	495,1	159,4	10,6	25632	544,8	1356,8	7992,9
$CV_j (a) [%]$	84,4	78,3	76,4	170,2	52,0	68,6	55,0	23,8
$Im$	0,03	0,07	0,15	0,01	0,47	0,08	0,04	0,02

*Résultats et discussion*

Les indices de cohérence, de diversité de Shannon et d'équitabilité des périmètres sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8. Tableau récapitulatif des indices de diversité des classes

Paramètres	Agr	CR	PA	MF-S	FE	FSJ	FSV	FD
$C_j(p)$	0,0021	7,8E-06	0,01	0,03	0,001	1,2E-05	2,7E-06	6,4E-06
$H_j(p)$	2,5	3,9	1,1	1,3	1,1	4,28	3,92	2,37
$E_j(p)$	0,89	0,88	0,68	0,92	0,52	0,87	0,82	0,55

À la lumière des données de ce tableau, la même tendance s'observe pour les indices de diversité des classes relatives au périmètre qu'à l'aire des classes. En effet, on note que la cohérence est faible et tend vers zéro. Plus particulièrement le groupe des classes au grand nombre des taches ont une cohérence très faible de toutes. Cela est tout à fait évident. Les valeurs élevées de l'indice de Shannon  $H_j(p)$  et l'équitabilité  $E_j(p)$  proche de l'unité corroborent cette observation. Ces indices prouvent au sein de ces classes, le nombre élevé de taches ayant des périmètres équitables entre eux. Parmi elles, c'est la classe des FSJ qui possède la valeur de l'indice de Shannon  $H_j(p)$  la plus élevée et l'équitabilité  $E_j(p)$  proche de 1. Cela traduit sa dominance en nombre de taches de contours équitables bien que cela ne soit pas soutenu par la valeur de sa cohérence. Ce qui démontrerait aussi leur morcellement.

Contrairement aux mesures surfaciques, les classes du groupe au petit nombre voient leur équitabilité augmenter. Parmi les valeurs d' $E_j(p)$  de ce groupe et de l'ensemble des classes du paysage, la valeur  $E_j(p)$  de la classe MF-S s'avère la plus élevée et très proche de l'unité ; d'où, les contours de ses taches sont les plus équitables tant dans le groupe au petit nombre que dans tout l'ensemble du paysage. Mais, la cohérence lui est inversement

### Résultats et discussion

proportionnelle. Cette contradiction est confirmée par la valeur de l'indice de Shannon  $H_j(p)$  et le nombre des taches  $n_j$  moins élevés.

Comparativement à cette dernière, c'est la classe FE qui possède les valeurs les plus faibles de la diversité de Shannon  $H_j(p)$  et de l'équitabilité  $E_j(p)$ . Cela implique que cette classe est moins morcelée ou composée de peu de taches très disproportionnées et aux contours très disproportionnels. Le nombre de taches  $n_j$  ne corrobore pas ce constat bien que la cohérence soit relative aux valeurs de ces indices.

### Indices se référant au rapport $A/P^2$

Le tableau 9 donne les résultats des calculs des rapports entre l'aire et le carré des périmètres. De l'analyse de ce tableau il découle une certaine variabilité de cet indice entre les différentes classes! Hormis la classe Agr où cet indice est très élevé et proche de 1, il s'avère très faible et presque similaire pour toutes les autres classes. La moyenne est également variable et oscille entre 0,03(FE) et 0,1(Agr). Il en ressort que le coefficient de variation est très variable et élevé. Cela souligne que les valeurs de cet indice sont sensiblement très dispersées autour de la moyenne. Ceci impliquerait une variabilité des taches en fonction de l'aire et du périmètre ainsi que de la forme des taches au sein des classes.

Tableau 9. Indices en rapport avec le rapport  $A/P^2$

Paramètres	Agr	CR	PA	MFS	FE	FSJ	FSV	FD
$A/P^2_{max,j}$	0,71	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
$A/P^2_{min,j}$	0,01	0,01	0,03	0,05	0,004	0,01	0,01	0,005
$A/P^2_{moy,j}$	0,1	0,05	0,06	0,06	0,03	0,05	0,05	0,06
$\sigma^2_j$	0,0001	0,0002	0,0002	6,65E-05	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001
$CV_j(\%)$	194	301	368	712	183	298	300	477

### III.1.2.3. Niveau de paysage

#### Indices en rapport avec l'aire

### Résultats et discussion

Les résultats par rapport à la comparaison des indices des aires entre les groupes "forêts" et "non forêts" avec le paysage pris dans son ensemble sont repris dans le tableau 10. On remarquera que l'aire maximale ( $4734 \text{ km}^2$ ) est similaire entre les forêts et le paysage et est largement supérieure à celle du groupe non forêts, soit quatre fois supérieure. Cela se justifie par le fait que la taille de la tache extrême la plus élevée au niveau du paysage se trouve dans les FD. Cette classe domine à plus de 44% et 38% les aires totales respectivement pour les "forêts" et le paysage pendant que les "non forêts" sont dominées par le type complexe rural à plus de 67 % contre probablement 9% seulement au sein du paysage.

La valeur minimale la moins élevée se trouve à la fois dans le groupe des "forêts" et dans le paysage. Celle des "non forêts" s'avère 4fois supérieure et se trouve dans la classe PA.

L'étendue des classes est très grande (+99%) pour les "forêts" et le paysage. Cela explique une grande hétérogénéité entre les aires des classes extrêmes et les "non forêts" sont caractérisées par la valeur faible de cet indice, soit 65 %.

Tableau 10. Valeurs des indices en rapport avec l'aire

Paramètres	Non forêts	Forêts	Paysage
$a_{max. k} [km^2]$	1139,9	4734,0	4734,0
$a_{min. k} [km^2]$	33,8	8,5	8,5
$e(a) [\%]$	65,1	99,8	99,8
$L(a) [\%]$	67,1	44,0	37,0

Le tableau 11 rapporte les données statistiques en rapport avec les mesures surfaciques des groupes des classes "forêts" et "non forêts" comparées à celles du paysage. De l'examen comparatif de ces classes il s'avère que les "forêts" occupent la superficie la plus élevée du paysage ( $10732 \text{ km}^2$ ) soit, plus de 86% de l'aire totale du paysage. Les valeurs moyennes diffèrent de celles du paysage et toutes sont supérieures à la médiane. Cela prouve la concentration des petites tailles et la dispersion de grandes aires des classes. Le coefficient de variation révélé y est très élevé et variable d'une part entre les groupes des classes et

### Résultats et discussion

d'autre part entre ceux-ci et le paysage. Cela démontre que les aires des classes "forêts" et "non forêts" sont très dispersées autour de la moyenne et elles s'avèrent très variables.

Dans l'ensemble, la variance est très élevée ; cela explique une grande variabilité des aires aussi bien au sein des groupes "forêts" et "non forêts" qu'au sein du paysage.

Le taux de fragmentation est très faible tant dans les groupes qu'au sein du paysage et il est similaire pour les "forêts" et le paysage. Avec un taux de fragmentation deux fois supérieur à celui des "forêts" et du paysage, manifestement les "non forêts" semblent plus fragmentées. La médiane corrobore cette observation. Par contre, ce constat ne s'explique pas à travers le nombre des classes au sein de chaque ensemble ni moins encore celui de taches de toutes les classes confondues de chaque ensemble. Il est de même pour d'autres métriques comme la dominance, la variance, le coefficient de variation.

Tableau 11 Données statistiques des mesures surfaciques

Paramètres	Non forêts	Forêts	Paysage
$a_{L,k} [km^2]$	1700	10732	12432
$a_{Lmoy,k} [km^2]$	567	2146	1554
$Me_k(a) [km^2]$	526	1761	1125
$\sigma_k^2(a) [km^2]$	307101	3350292	2670636
$CV_k(a) [\%]$	102	117	95
$F_k$	0,04	0,02	0,02

La comparaison des indices de diversité des forêts et du paysage est reprise dans le tableau 12. L'examen des données de ce tableau révèle les caractéristiques globales des groupes des classes "forêts" et "non forêts" comparées à celles du paysage considéré dans son ensemble.

Globalement, il ressort de cette analyse que la cohérence du groupe "forêts" est supérieure à celle du paysage pris dans son ensemble, elle même supérieure à celle des "non forêts". Cela explique qu'il existe moins de classes (taches) de "forêts" au niveau du groupe "forêts" avec des aires disproportionnelles. Cette situation ne se confirme pas pour le groupe des

*Résultats et discussion*

"non forêts" d'autant plus que le nombre des taches des "non forêts" est moins élevé par rapport au groupe "forêts".

Pourtant moins il y a des taches, plus la cohérence augmente et les indices de diversité  $H$  (a) et l'équitabilité  $E$  (a) diminuent. Néanmoins, les valeurs de  $H$  (a) et de  $E$  (a) beaucoup moins élevées de ce groupe confirment qu'elles sont proportionnelles au petit nombre des taches des « non forêts ». Ce qui prouve une relative hétérogénéité et la dominance d'une classe.

Par ailleurs, pour le paysage en soi, les indices de diversité de Shannon  $H$  (a) et d'équitabilité  $E$  (a) sont élevés par rapport à ceux du groupe " forêts". D'où, il en résulte que les aires des classes (des taches) du paysage sont plus hétérogènes et équitables entre elles qu'au niveau des "forêts". Les forêts denses s'avèrent la classe dominante du paysage.

Tableau 12 Indice de diversité

<b>Paramètre</b>	<b>Non forêts</b>	<b>Forêt</b>	<b>Paysage</b>
<b>e</b>		<b>s</b>	
$C_k(a)$	0,0003	1	0,02
$H_k(a)$	0,4	1,2	1,6
$E_k(a)$	0,3	0,6	0,8

La figure 25 exprime les proportions occupées par les aires des classes dans le paysage. Ces proportions établissent des liens globaux entre les modes d'occupation du sol et l'aire du paysage. En effet, la classe FD (38%) est la principale occupation de la zone forestière de notre site d'étude suivie des FSV (25,2%). Les classes PA (0,3%) et MFS (0,1%) sont quasi inexistantes de part leurs très faibles proportions.

Manifestement, on remarquera que la part de l'intervention humaine dans le changement de l'occupation du sol est grande suite à la déforestation. Ceci s'explique par la somme des proportions de plus de 52% des espaces visiblement anthropisés à savoir les forêts secondaires, le complexe rural, l'agriculture et les mosaïques forêt-savane. Ce qui justifierait éventuellement des menaces dus à la déforestation.

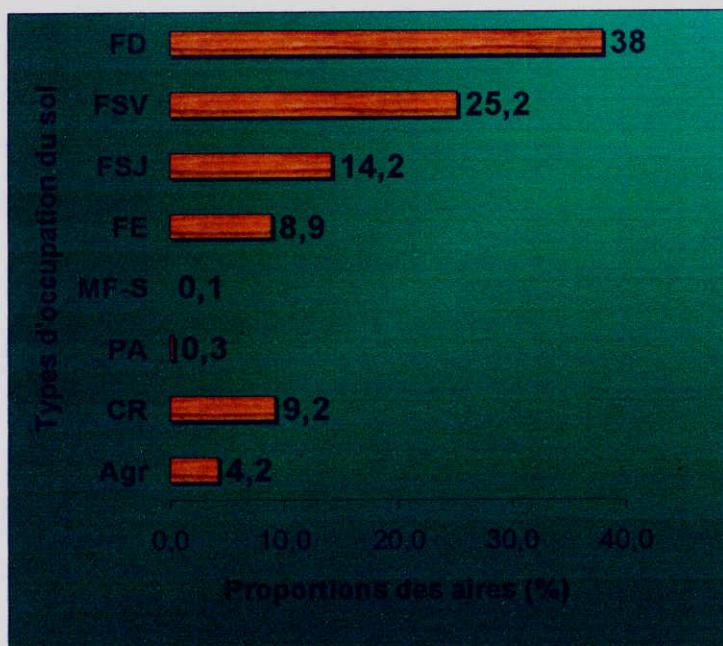


Fig.25. Proportions des aires des classes dans le paysage  
*Indices en rapport avec le périmètre*

Le tableau 13 compare les résultats des calculs pour les valeurs extrêmes des périmètres des groupes des classes (forêts et non forêts) avec ceux du paysage. On note la même tendance observée lors de la comparaison des aires. En effet, le périmètre maximal des "forêts" (2410,6 km) est le même que pour le paysage et largement supérieur à celui des "non forêts" (1428,7 km). Ce dernier relatif à la classe CR est très dominant (+75 %) contre probablement 16% au sein du paysage. Par contre la FSV l'est à plus de 35% et plus de 27% respectivement pour les "forêts" et le paysage.

L'étendue est aussi très grande (+73%) pour "non forêts" et plus de 99 % pour les "forêts" et le paysage. Ce qui implique par conséquent une très grande variabilité entre les périmètres des classes extrêmes aussi bien dans le groupe "forêts" qu'au sein du paysage comparativement au groupe "non forêts".

*Résultats et discussion*

Tableau 13. Indices en rapport avec le périmètre

<b>Paramètres</b>	<b>Non forêts</b>	<b>Forêts</b>	<b>Paysage</b>
$p_{max, k}$ [km]	1428,7	2410,6	2410,6
$p_{min, k}$ [km]	48,2	22,2	22,2
$e_k(p)$ [%]	73,3	99,1	99,1
$L_k(p)$ [%]	75,8	35,3	27,6

Le tableau 14 récapitule les données de comparaison des valeurs statistiques relatives aux périmètres des "forêts", "non forêts" et le paysage pris dans son ensemble. A la lumière de ce tableau on note les mêmes observations faites à l'examen des mesures statistiques en rapport avec les mesures surfaciques.

En effet, les "forêts" mesurent plus de la moitié (6835,2km, soit environ 80 %) de périmètre de l'ensemble du paysage. Les périmètres moyens des groupes diffèrent de celui du paysage. Ils sont supérieurs à la médiane, exception faite pour les "forêts" où le périmètre moyen est inférieur à la médiane. Cela dénote la concentration des contours courts et la dispersion des longs contours des classes aussi bien pour les "non forêts" que pour le paysage. La variance est même très élevée. Ce qui démontre une grande hétérogénéité des périmètres dans tous les cas. Le coefficient de variation très variable et très élevée prouve en suffisance que les contours sont non seulement hétérogènes mais aussi, très dispersés autour de la moyenne.

Tableau 14. Données statistiques des mesures des contours

<b>Paramètres</b>	<b>Non forêts</b>	<b>Forêts</b>	<b>Paysage</b>
$p_{L, k}$ [km]	1883,9	6835,2	8719,1
$p_{L, moy, k}$ [km]	627,3	1089,9	1367,0
$Me_k(p)$ [km]	407,0	1575,0	1047,4
$\sigma^2_k(p)$ [km <sup>2</sup> ]	513058,3	1015820,1	873358,1
$CV_k(p)$ [%]	87,7	135,6	116,6

### Résultats et discussion

Les indices de diversité en rapport avec le périmètre sont étalés dans le tableau 15. De l'analyse de ce tableau nous observons la même tendance que pour les indices de diversité relatifs à l'aire. Les résultats soulignent une cohérence des forêts largement supérieure à celle de l'ensemble du paysage, laquelle tend vers zéro.

Cela renseigne en suffisance comme pour les aires qu'il y a plus des classes (taches) au niveau du paysage et une classe domine. Les indices de diversité de Shannon  $H_k(p)$  et d'équitabilité  $E_k(p)$  de l'ensemble du paysage sont aussi supérieurs à ceux des "forêts". Ce qui confirme le nombre élevé des classes (taches), la variabilité et une relative équitabilité des périmètres des classes ainsi que la dominance d'une classe au sein du paysage par rapport au groupe des "forêts".

Paradoxalement pour les "non forêts" ayant moins de taches, la cohérence est la plus faible comparativement aux "forêts" et au paysage pris dans son ensemble. La valeur faible de  $H_k(p)$  ne se rapporte pas à la cohérence bien que relative à  $n_k$ . Par contre, l'équitabilité est inversement proportionnelle à la cohérence et au nombre des taches. Néanmoins, la valeur de  $E_k(p)$  démontre tout de même que les périmètres des classes (taches) sont relativement équitables entre eux. En outre, les valeurs élevées de  $C_k(p)$  et d' $E_k(p)$  ne traduisent pas la valeur moins élevée de  $n_k$ .

Tableau 15. Données des indices de diversité

Paramètre	Non forêts	Forêts	Paysage
$C_k(p)$	0,0006	1	0,0021
$H_k(p)$	0,5	1,2	1,7
$E_k(p)$	0,4	0,3	0,4

La figure 26 donne les proportions des périmètres en fonction des types d'occupation du sol au sein du paysage. Contrairement à la tendance observée dans le cas des proportions des aires, pour les périmètres, c'est la classe FSV (27,6%) qui vient en premier lieu en fonction de l'abondance relative suivie de FSJ (24,8%) puis de FD (18,1%) et CR (16,4%) qui sont toutes les deux presque équivalentes. La part des classes PA (0,6%) et MF-S (0,3%) s'avère toujours trop faible.

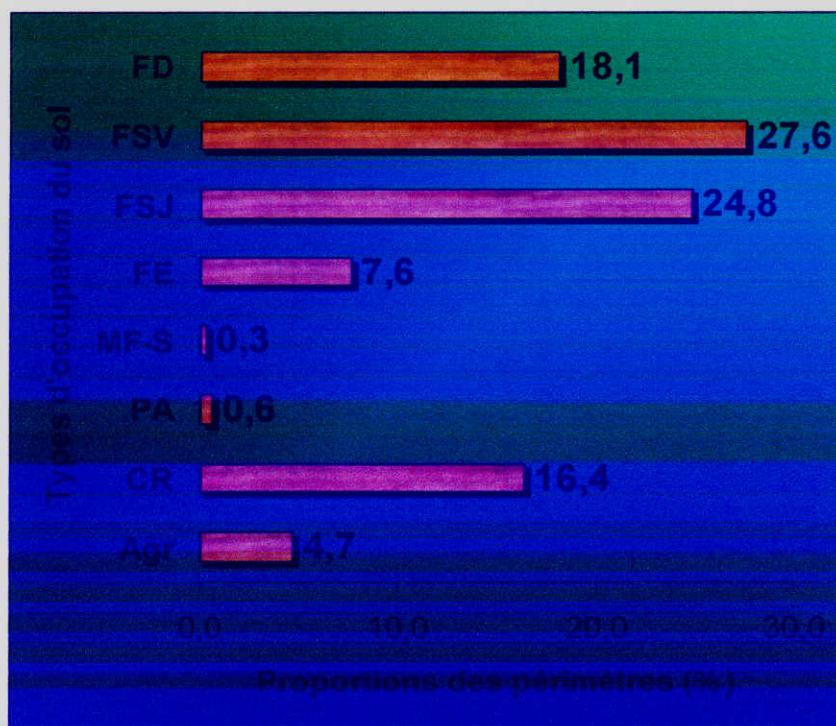


Fig.26 : Proportions des périmètres des classes dans le paysage

### III.2 Discussion.

#### III.2.1 Méthodologie du travail

Notre site de référence est situé à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani dans la province orientale en RD Congo. A cheval sur le fleuve Congo, l'étendue de la zone d'étude est comprise entre les coordonnées 24° et 25° longitude est, 00° et 01° latitude nord.

Le choix de cette zone a été dicté par la nécessité de la sauvegarde des réserves forestières de la région de Yangambi qui aujourd'hui s'avèrent menacées par des dégradations dues essentiellement à l'action humaine. En effet, ces dernières décennies le pays a connu une conjoncture sans précédent qui a conduit à des mauvaises conditions socioéconomiques. Ce fait a amené la population paysanne à s'attaquer à la forêt afin de subvenir à ses besoins de première nécessité. C'est le cas par exemple des agents de l'INERA, de l'IFA/Yangambi et de ceux de certains services politico administratifs.

Le support des données utilisé est constitué de la carte de l'occupation du sol au format TIFF géoréférencé fournie par l'unité de recherche en environnémentrie et géomatique de l'Université Catholique de Louvain ainsi que les fichiers numériques correspondants en téléchargeant la classification de l'occupation du sol sur le site [www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/](http://www.enge.ucl.ac.be/cartes-RDC/). Nous avons recouru à deux approches méthodologiques pour décrire la structure spatiale de l'écosystème forestier de Yangambi : le système d'information géographique et l'analyse spatiale.

Le logiciel ArcView 3.3 nous a servi de système d'information géographique pour le traitement classique, en d'autre termes pour générer la classification des taches afin d'obtenir les différents polygones de base pour le calcul de différents paramètres. L'analyse spatiale a été d'utilité pour calculer et interpréter les résultats en rapport avec les indices de composition et de configuration spatiale de la région de Yangambi au moyen des logiciels Excel et SPSS 12.0

La classification regroupe 8 types d'occupation du sol : forêts denses, vieilles forêts secondaires, jeunes forêts secondaires, forêts édaphiques, mosaïques forêt-savane, prairies aquatiques, complexes ruraux et agriculture. Cette classification s'avère indispensable et fiable pour l'analyse spatiale d'autant plus qu'elle n'a pas subi des modifications dues à l'influence des cartes provenant de plusieurs sources. Elle provient en effet, d'une carte de la même zone issue de la même source et d'échelles identiques. Nous osons croire également que les méthodes utilisées s'apparentent à la réalité du milieu pour une étude en écologie du paysage. Néanmoins, sa validité pour des reconnaissances très poussées du terrain nous projette dans l'avenir pour décrire et comprendre les changements de la structure du paysage forestier de la région de Yangambi.

### **III.2.2 Interprétation des résultats**

Une fois les limites du paysage définies, on a disposé d'une gamme large de métriques pour la description de la structure du paysage. Ces métriques sont destinées à définir des caractéristiques, pertinentes du point de vue écologique de la structure spatiale. Il s'agit notamment des indices de composition (la cohérence, l'indice de diversité de Shannon et

*Résultats et discussion*

l'indice d'équitabilité de Pielou) et les indices de configuration spatiale (le nombre de taches, l'aire de taches, le périmètre de taches et le rapport aire/ carré du périmètre).

Certains paramètres statistiques (les valeurs extrêmes, la moyenne, la médiane, le mode, la variance, le coefficient de variation, l'étendue et la dominance) ont servi à l'interprétation des résultats obtenus. Les descripteurs sont définis à trois niveaux hiérarchiques distincts : à celui de l'unité fonctionnelle (tache), à celui de la classe et à celui du paysage lui-même.

Après comparaison des résultats obtenus en rapport avec les aires et périmètres des classes, on peut tirer une information de la moyenne des aires et des périmètres comparativement à la médiane et au mode. Néanmoins, on peut savoir par exemple qu'ils s'avèrent inférieurs à la moyenne. Cette situation serait essentiellement due à la présence de beaucoup d'UEPs trop restreintes et à la dominance des larges "patches" sur l'ensemble de l'occupation du sol.

Cela peut être démontré par le fait que l'aire, une mesure de la composition du paysage, peut fournir une information dans beaucoup d'applications écologiques. Par exemple, il existe une corrélation entre la taille d'un patch et la diversité des oiseaux, l'abondance d'espèces terrestres (With et al, 1997). Également, les espèces de vertébrés spécialisés sur un habitat ne peuvent exister que si elles ont un minimum d'espace pour vivre. Bien que cela, la variation de l'aire des patches donne plus d'informations que la moyenne étudiée ou analysée individuellement. Visiblement si deux classes possèdent la même aire moyenne et que l'une d'entre elles possède un coefficient de variation faible par rapport à la seconde, les caractéristiques de la première sont plus homogènes alors que la seconde probablement aurait des patches significativement différents.

Le rapport aire/carré du périmètre semble mieux informer sur la variabilité des tâches comparativement à l'aire et au périmètre. En outre, le périmètre ne donnant pas d'informations sur la composition spatiale peut par contre aider à comprendre la configuration du paysage en indiquant le découpage des classes, confirmant ainsi l'indice de morcellement.

D'autre part, un patch peut occuper la majorité de la surface de la classe mais ne représentant qu'une faible surface dans le paysage. En conséquence, le coefficient de

### *Résultats et discussion*

variation et la dominance paraissent renseigner mieux que d'autres indices des aires comme l'étendue et la variance.

En effet, pour l'ensemble des classes, on remarque aussi bien des grandes taches que de nombreuses taches de petite taille. Ces dernières, généralement très variables dans toutes les classes et représentant moins de 40 % de la superficie totale du paysage, ont une aire relative variant entre 0,6 et 92,9 km<sup>2</sup>. La classe FSJ regroupe en son sein le plus grand nombre des taches, soit 135 dont 5 occupent plus de 38 % de l'aire totale de la classe. Notons que du point de vue variance de la taille des unités, les grandes et les petites unités ont des avantages complémentaires et devraient être présentes dans le paysage.

Ces indices restent des indicateurs importants de l'hétérogénéité spatiale. Mais le problème que suscitent ces indices est la redondance des mesures. C'est-à-dire plusieurs indices peuvent décrire la même information. L'important donc, reste de savoir quel indice utiliser et quelle mesure exprime le mieux tel ou tel autre phénomène. Bien que ces mesures quantifiant l'hétérogénéité spatiale puissent être corrélées, la nécessité d'en utiliser plusieurs semble logique (Bogaert et Mahamane, 2005). Il y a donc beaucoup d'indices en écologie du paysage, nous avons choisi ceux qui expliquent le mieux l'hétérogénéité spatiale de cette zone. Ils concernent dans un premier temps l'aire et le périmètre.

Par rapport à l'ensemble des classes "non forêts" (moins de 14 % de l'aire du paysage), c'est la classe complexe rural qui possède 79,6% de taches contre 18,5% au sein du paysage. Elle occupe plus de 67 % de la superficie totale du groupe contre 9% dans le paysage. Inversement, pour l'ensemble "forêts" et le paysage pris dans son ensemble, les forêts denses possèdent respectivement plus de 21,7% et 16,7% de taches. Elles occupent par ailleurs, plus de 44 % et plus de 37 % de la superficie totale respectivement dans le groupe "forêts" et au sein du paysage. Elle constitue la classe dominante dans tous les cas et la plus fragmentée à un taux de 50 % (confirment la médiane, la variance et le CV).

Ensemble, les forêts denses et vieilles forêts secondaires occupent plus de 63 % de l'aire totale du paysage et forment par conséquent, la matrice de ce paysage (Schlaepfer, 2002). Les classes forêts toutes confondues dominent à plus de 86 % de la superficie totale du paysage. Toute fois, les activités humaines semblent prendre de l'ampleur sur la nature du paysage forestier dans la région de Yangambi. Ceci est dû au seuil de plus de 52 % de types

*Résultats et discussion*

d'occupation du sol éventuellement anthropisés. Néanmoins, on observe encore une potentialité de conservation.

De cette synthèse, on peut tirer un enseignement sur le paysage forestier dans la région forestière de Yangambi selon lequel il est hétérogène et fortement anthropisé. Il serait en outre dynamique mais on ignore encore le rythme de changement et le seuil de contribution pour chaque facteur en interaction.

**Conclusions et perspectives**

Notre étude avait pour objectif de quantifier la structure spatiale d'un paysage dans la région forestière de Yangambi à l'aide des indices de configuration et de composition issus du domaine de l'écologie du paysage.

La carte de l'occupation du sol de Defourny en format TIFF géoréférencée à l'échelle de 1:3000000 a servi de support de données. Cette a été fournie par l'unité de recherche en environnémentrie et géomatique de l'Université Catholique de Louvain. La méthodologie a consisté à l'utilisation du système d'information géographique et l'analyse spatiale. La classification des taches a été générée à l'aide du système d'information géographique. Ce système a permis de mettre en exergue différents polygones de base pour la détermination des paramètres étudiés. La classification sur version simplifiée fait ressortir huit types d'occupation du sol suivants : forêts denses, forêts secondaires vieilles, forêts secondaires jeunes, forêts édaphiques, mosaïque forêt-savane, prairie aquatique, complexe rural et agriculture.

Les métriques des configurations spatiales et de composition ont été effectuées à partir de taches générées grâce à l'analyse spatiale en vue d'apprécier quantitativement la structure spatiale dans la région forestière de Yangambi.

Eu égard à ce qui précède, le constat est que le paysage dans la région forestière de Yangambi est une mosaïque relativement très hétérogène, relativement fragmentée et évoluerait progressivement sous l'influence humaine. Les proportions des différentes classes expliqueraient ce phénomène. En effet, toutes les classes occupent chacune moins de 50 % de l'aire totale du paysage et pire encore la forêt dense s'avère intensément fragmentée. Néanmoins, il serait encore trop tôt de confirmer la tendance vers les menaces aiguës de la déforestation dans l'avenir. Ce qui requiert l'utilisation d'autres types des données à l'occurrence les photos aériennes, les images satellitaires, les cartes... Une analyse diachronique serait indiquée.

*Conclusions et perspectives*

Enfin, nous envisageons poursuivre nos recherches dans cette optique par :

L'acquisition des données multisources, multi scalaires pour le suivi pluriannuel de l'occupation du sol de la zone d'étude ;

- Approfondir l'étude de la structure spatiale et apprécier son impact sur quelques aspects de la biodiversité animale tels que les primates ;
- Elargir la zone d'étude dans toute la province orientale.

## Références bibliographiques

### Références bibliographiques

Anderson, J.E. 1991. *A conceptual framework for evaluation and quantifying naturalness conservation Biology*, 5: 347-352

Askins, R.A. 1995. *Hostile landscape and the decline of migratory songbirds*. *Science*, 267 :1956-1957

Aus der Beek, R., Rai, C. et Schuler, K. 1997. *Community forestry and biodiversity: experiences from Dolakha and Ramchhap Districts (Népal)*. Projet suisse-népalais de foresterie communautaire (NSCFP), Kahmandou, Népal.

Bamba, I., 2006. *Etude de la structure spatiale et de la dynamique spatio-temporelle d'un paysage dans l'ex Bas-Congo (R.D.Congo)*. Mémoire DEA, ULB, Bruxelles

Baudry, J. 1986. *Approche écologique du paysage, lectures du paysage*. INRAP, Foucher, p. 23-32

Baudry, J. 1986. *Approche écologique du paysage, lectures du paysage*, INRAP, Foucher, p. 23 – 32

Baudry, J. 1988. *Approches écologiques des paysages*. Le courrier de l'environnement de l'INRA, 4

Bennett, G. et Wit, P. 2001. *The development and application of ecological networks*. AID Environment et Alliance mondiale pour la nature (UICN), Gland, Suisse

Berque, A. 1995. *Les raisons du paysage de la chine antique aux environnements de synthèse*, Paris, Hazan, 192p

Bertrand G., 1968. *Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique*. *Revue de géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 3, Toulouse, PU du Mirail.

Bogaert, J et Mahamane, A. 2005 *Ecologie du paysage : Cibler la configuration et l'échelle spatiale*. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, Bénin

Bogaert, J. 2007 *Ecologie du paysage*. Fichier d'enseignement. pdf. Master en gestion de la biodiversité et aménagement forestier. Université de Kisangani, R.D. CONGO

Burel, F. 1991. *Dynamique d'un paysage, réseaux et flux biologiques*, Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 235p

Burel F., Baudry, J. (1999). *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, Ed Tec & Doc.

Burel F. & Baudry J., 2003. *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris, France: Tec & Doc. 359p.

## Références bibliographiques

Burgess, R.L. and Sharpe, D.M. 1981. *Forest Island Dynamics in Man-Dominated landscapes*. Springer-Verlag, New York 310p

Cahen, L. 1954. *Géologie du Congo belge*. Vaillant-carmanne, Liège, 577 p.

Clergeau, Ph. et Guy, D. 1999. Biodiversité, Paysage et Aménagement : Du corridor à la zone de connection biologique. *Mappemonde* 55

Coulson, R.N., Saaremaa, H., Daugherty, W.C., Rykiel, E.Jr., Saunders, M.C. and Fitzgerald, J.W. 1999. A knowledge system environment for ecosystem management. pp 57-79 in Klopatek, J.M. and Gardner, R.H. Eds, *Landscape ecological analysis. Issues and applications*. Springer-Verlag, New York

Curtis, J. 1956. *The modification of mid-latitude grasslands and forests by man*. In:

Daily, G.C. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington

De Heinzelin, J. 1952. *Sols paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo*, Publ. INEAC, coll. in -4è-

De Leenheer, L., D'Hoore, J. et Sys, K. 1956. *Cartographie et caractérisation pédologique de la catena de Yangambi*. Publ. INEAC Série Sc. n° 55, Bruxelles, 62p

Demaret, F. 1954. *Contribution à l'étude de la végétation bryophytique pionnière des falaises de Yangambi au Congo belge*, Bull., Jard. Bot. Etat, Bruxelles, XXIV, 2, p.107-112

Djibu, K. 2007. *Etat de la fragmentation de la forêt au Katanga en RDC Congo*. Mémoire DEA, ULB, Bruxelles

Ducrot D., 2005. *Méthodes d'analyses et d'interprétation d'images de télédétection multisource. Extraction de caractéristiques du paysage*. Mémoire de recherche. INP, Toulouse, France. 216 p.

FAO, 1995. *Forest Resources Assessment 1990: Global synthesis*. FAO Forestry Paper 124 Rom.

FAO, 2005. *L'état des forêts tropicales*, Rome, 150p

Farina A., 1998. *Principles and Methods in Landscape ecology*. London, UK: Chapman & Hall. 235 p.

Fischesser, B. et Dupuis, M.F. 1996. *L'identité du paysage, l'expérience du Cemagref*, C.R. Acad. Agri. Fr. 82 (4), 123-132

Fontan, B., Gombert, S., Ribeyre, F. et Sennes, V. 2008. *Prérequis d'écologie du paysage*, rentrée en L3 IEGR. Institut EGID- BORDEAUX. [http://www.egid.u-bordeaux-fr/formation/iframs/formation\\_0407/L3/Ecologie.pdf](http://www.egid.u-bordeaux-fr/formation/iframs/formation_0407/L3/Ecologie.pdf).

## Références bibliographiques

- Forman, R. et Godron, M. 1981. *Patches and structural components for landscape ecology*. Biosciences 31:733-740
- Forman, R.T.T. et Godron, M. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley and sons, New York, USA 619p
- Forman, R, T.T 1995. *Land mosaic: the ecology of landscape and regions*. Cambridge University Press. Cambridge, UK
- Forman, R.T.T 1999. *Land Mosaics : The ecology of Landscapes and regions* .Cambridge University Press, Cambridge (U.K.) 632 pp
- Gascon, C. Williamson, G. et da Fonseca, G. 2000. *Receding forest edges and vanishing reserves*. Science, 288: 1356-1358
- German, R. et Evrard, C. 1956. *Etude écologique et phytosociologique de la forêt à Brachystegia laurentii*. Publ. INEAC, Série Scient. n° 67, Bruxelles. 105p
- Gilson, P., Van Wambeke, A. et Guzwiler, R. 1956. *Carte des sols et de la végétation du congo belge et du Rwanda –Urundi*. 6. Yangambi. Planchette 2 : Yangambi A et B avec notice explicative. Publ. INEAC, Bruxelles.
- Harp, W. 1994. *Ecology and cosmology: rainforest exploitation among the Emberà-choco*. Nature and Resources, 30(1): 23-27.
- Holling, C.S. 1997. *Timber production and biodiversity conservation in tropical rainforest*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume Uni
- Hertig J.A. 2007 *Paysage et EIE. Buses légales*. <http://aero-ge.eppl.ch/enseigne/oct2005/Paysage-et-EIE2007.ppt>.
- Iorgulescu I. & Schlaepfer R., 2000. *Paysage en tant qu'écocomplexe : définition, types, caractéristiques, fonctionnement et fonctions*. Fiche d'enseignement 4.1, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 24 p.
- Iorgulescu, I. et Schlaepfer R. 2002 *Paysage en tant qu'écocomplexe : définition, types, caractéristiques, fonctionnement et fonctions*. Fiche d'enseignement 4.1, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse.
- Iorgulescu, I., Schlaepfer, R., Büttler, R., et Glenz, C. 2002. *Métapopulations et structure du paysage*. Fiche d'enseignement 5.3. Laboratoire de Gestion des écosystèmes. Ecole polytechnique de Lausanne, Suisse, 19p
- Jacquot, C., 1983. *Ecologie appliqué à la sylviculture*, éd. Gauthier-Villars, Bordas, Paris. 184pp.
- Johnson, K.H., Vogt, K.A., Clark, H.J., Schmitz, O.J. and Vogt, D.J. 1996. *Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems*. Trends in Ecology and Evolution, 11(9):372-377

## Références bibliographiques

- Johns, A.G. 1997. *Timber production and biodiversity conservation in tropical rainforest*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume Uni
- Kellog, C.E., and Davol, F.D. 1994. An exploratory study of soils groups in the Belgium Congo, Publ. INEAC, Sér. Scient. n° 46.
- Kombele, F.B.N. 2004. Diagnostic de la fertilité des sols en cuvette centrale congolaise. Csa des séries Yangambi et Yakonde. Gembloux, Thèse de doctorat, 434P
- Milhé N., 2003. *Contribution à l'élaboration d'indicateurs spatiaux pour le suivi d'habitats naturels par l'utilisation d'indices de structure du paysage : Application à la grande Camargue*. Mémoire DEA. Université de Provence ( Aix-Marseille I), France 49 p \$
- Musick, H. B. and H. D. Grover (1991). "Image textural measures as indices of landscape pattern." *Quantitative methods in landscape ecology*. M. G. Turner and R. H. Gardner. New-York, Springer-Verlag. 82: 77-103.
- Laurence, W.F. 1999. *Habitat fragmentation : introduction and synthesis* : Biological conservation, 91 :101-107
- Lebrun, J. et Gilbert, G., 1954. *Une classification écologique des forêts du Congo*. Publication de l'INEAC. Sér. Scient. n°63. Bruxelles.
- Léonard, J. 1952. *Aperçu préliminaire des groupements végétaux pionniers dans la région de Yangambi (Congo belge)*, Vegetatio, III, 4-5, p.279-297
- Lesne, A. 2002. *Lois d'échelles et approches multi-échelles en biologie*. Colloque Forme et organisation. CNRS, Berder, France.
- Lévêque, C., 1990. *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest*, T. 1. Collection Faune Tropicale n° XXVIII. Ed. MRAC, Tervuren et ORSTOM, Paris, 384 p.
- Louis, J. 1947. *L'origine et la végétation des îles du fleuve dans la région de Yangambi*. C.R. Séminaire Agricole de Yangambi 1947, Publ. INEAC, hors sér. p. 916-923
- Musik, H. B and Grover H.D 1991. *Image textural "measures as indices of landscape pattern."* Quantitative methods in landscape ecology M.G. Juner and R.H. Gardner New-York, Springer- Verlag . 82 : 77-103
- Milhé N., 2003. *Contribution à l'élaboration d'indicateurs spatiaux pour le suivi d'habitats naturels par l'utilisation d'indices de structure du paysage : Application à la grande Camargue*. Mémoire de DEA. Université de Provence ( Aix-Marseille I), France 49 p.
- Neuray, J., 1982. *Des paysages pour qui? Pourquoi ? Comment ?* Gembloux, Belgique, PAG, 589p.

## Références bibliographiques

- Paillot, G. et Buet, A. 1997. *Utilisation par les petits mammifères du réseau de digues bordant les cultures dans un paysage poldérisé d'agriculture intensive*. *Ecologia mediterranea*, 23: 13 – 26.
- Pinchemel, Ph. et Pinchemel, G., 1992. *La face de la terre. Eléments de géographie*, Paris : Armand colin, 519p
- Redford, K.H. 1992. *The empty forest*, *Bioscience*, 42(6): 412-422
- Richards, J.F. 1990. *Land transformation In: The earth as transformed by human action*, Cambridge University Press, Cambridge, 713p. Edited by Turner B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.F. and Meyer, W. 1990.
- Ricklefs & Miller, G., 2005. *Ecologie*. Éd. De Boeck (4<sup>e</sup> édition), 822 p.
- Risser G, Karr J.R, Forman R.T.T 1983, landscape ecology directions and approaches. The Illinois Natural History Survey. Natural resources Building 607 Best Peabody Drive.champoign, Illinois 61820
- Robinson, S.K., Thompson, F.R. III, Donavin, T.M., Whitehead, D.R. et Faaborg, J. 1995. *Regional forest fragmentation and the nesting success of migratory birds*. *Science*, 267: 1987-1990.
- SAF. 1983. *Terminology of Forest Science Technology, Practice and Products*. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland. 370pp
- Schlaepfer, R., 2002. *Analyse de la dynamique du paysage*. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Écosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 10 p.
- Schlaepfer, R., Bütler, R. 2002. *La diversité biologique*. Fiche d'enseignement 5. Laboratoire de Gestion des écosystèmes. ENEAC, Suisse, 16p.
- Schlaepfer, R. 2006. Conservation de la biodiversité biologique. Utilisation de métriques paysagères. ISTE, EPFL (Ecole polytechnique de Lausanne), Suisse 26p. Disponible sur Internet  
[http://lasig.epfl.ch/enseignement/cours/sigenv/2006/Schlaepfer%202006\\_SIG\\_ENV.pdf](http://lasig.epfl.ch/enseignement/cours/sigenv/2006/Schlaepfer%202006_SIG_ENV.pdf)
- Scheffer, M., Carpenter, S.R., Foley, J.A., Folke, C. et Walker, B. 2001. *Catastrophic shifts in ecosystems*. *Nature*, 413: 591-596
- Schoener, T.W. 1989. *Food webs from the small to the large*. *Ecology*, 70(6): 1559-1589
- Štirn, J. 1981. *Manual of methods in aquatic environment research. Part 8. Ecological assessment of pollution effects*. FAO. Fisheries Technical Paper 209: 71 pp.
- Troll, C. 1939. *Luftbildplan und ökologische Bodenforschung (Aerial photography and ecological studies of the earth)*. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde*, Berlin: 241-293.

## Références bibliographiques

Turner, M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:171-197. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie\\_du\\_paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)

Turner B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Ricahards, J.F., Mathews, J.F. and Meyer, W. 1990. *The earth as transformed by human action*, Cambridge University Press, Cambridge, 713p.

Van Wambeke, A. et Evrard, C. 1954. *Cartes des sols et de la végétation du congo belge et du Rwanda-Urundi*. 6 : Yangambi Planchette 1 : Weko, avec notice explicative. Publ INEAC. Bruxelles

Van Wambeke, A et Libens, L. 1957 *Notice explicative de la Carte des sols et de végétation du Congo-Belge et du Rwanda- Urundi* G.Yangambi : planche 4 : Yambaw. A et B. Bruxelles .Publ. INEAC, 28 p

Wiens 1997 . *Metapopulation dynamics and Lanscap ecology* disponible sur internet et consulté le 01/04/2008 [http : // fr. wikipedia](http://fr.wikipedia).

Wilke, D., Shaw, E., Rotberg, F., Morelli, G. et Auzel, P. 2000. *Roads, development, and conservation in the Congo Basin*. *Conservation Biology*, 14(6): 1614-1622

WIKIMEDIA 2008. *Écologie du paysage*. Wikipédia\_fichiers, disponible sur internet. Consulté le 01/042008 [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie\\_du\\_paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)

Wiens, J. A. (1997) *Metapopulation Dynamics and Landscape Ecology*(Ed Ilkka A. Hanski and Michael E. Gilpin) pp. 43-62. Academic Press, San Diego, CA. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie\\_du\\_paysage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Écologie_du_paysage)

Wth, K.A., Gardner, R.H., Turner, M.G. 1997. *Landscape connectivity and population distribution in heterogeneous environments*. *Oikos*, 78: 151-169

Annexes

ANNEXES

I DONNEES DES TEMPERATURES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1997	70	8	108	163	99	171	113	99	215	217	99	227
1998	77	118	161	95	150	107	235	71	133	98	185	57
1999	98	165	165	231	74	160	122	198	108	230	321	169
2000	49	48	52	121	146	147	68	187	117	237	77	134
2001	43	106	136	148	186	60	49	253	174	237	268	87
2002	36	22	84	279	127	93	120	172	178	215	263	188
2004	57	69	116	261	153	54	97	143	210	173	187	123
2005	43	76	123	145	120	109	84	307	109	353	213	108
2006	136	80	203	113	183	189	114	100	297	129	185	125
Moy	68,8	76,9	127,6	128,9	170,9	121,1	111,3	170	171,2	209,9	197,8	135,3

II DONNEES DES PRECIPITATIONS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1997	25,1	25,6	25,5	24,7	24,8	24,1	20,3	20,3	24,9	24,5	24,4	24,7
1998	24,9	26,6	26,6	26,1	24,8	24,2	24,4	24,1	24,3	24,5	24,7	25
1999	25,1	25,6	25,5	24,7	24,8	24,1	24,3	24,3	24,9	24,5	24,4	24,7
2000	24,4	25,4	26,4	25,5	24,9	24,2	24,2	24,2	24,6	24,6	24,8	24,6
2001	24,8	25,8	25,6	25,6	24,7	24,7	24,4	24,4	24,3	24,7	24,7	25,5
2002	24,9	26,3	26	25,9	25,2	25,1	24,5	24,5	24,7	24,4	24,3	24,1
2004	25,5	25,7	26,9	25,5	24,8	24,7	24,9	24,9	24,8	24,9	24,6	24,9
2005	25,1	27,2	26,1	25,4	25	24,6	24,5	24,5	25,4	24,7	25,1	25,8
2006	25,4	25,9	25,5	25,5	25,1	25,1	24,4	24,4	24,4	25,3	24,6	24,8
Moy	25	26	26	25,5	25,5	24,6	24	24	24,7	24,7	24,7	24,9

III. AGRICULTURE

AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
78,801	42,01557
6,00000	11,12311
6,46226	10,67656
0,64039	3,74983
2,19132	6,99003
53,67026	34,14845
2,06419	7,58702
4,00000	8,00000
9,47312	12,58971
59,69626	32,37156
46,21870	37,20685
112,32389	86,73907
10,83413	14,97896
48,65183	38,23780
73,60749	41,92703
11,71989	18,67631

IV. FORÊTS ÉDAPHIQUES

Analyse de la structure spatiale d'un paysage dans la région forestière de Yangambi (RDC)  
 Ir. Charles Khaly KAMBALE 2006-2007

## Annexes

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1	62,13542	41,21662
2	10,28488	13,58389
3	4,07850	9,19543
4	4,51936	14,31843
5	10,04096	16,42967
6	16,59554	21,30346
7	927,90734	475,91407
8	74,66940	74,09556

## V MOSAÏQUE FORÊT-SAVANE

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1	1,00000	4,00000
2	29,77207	32,22687
3	1,00000	4,00000
4	1,00000	4,00000
5	1,00000	4,00000

## VI PRAIRIE AQUATIQUE

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1	1,00000	4,00000
2	1,00000	4,00000
3	5,82813	10,42558
4	0,64039	3,74983

## VII FORETS SECONDAIRES JEUNES

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)		AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)		AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1	3,00000	8,00000	47	1,00000	4,00000	93	1,00000	4,00000
2	0,64039	3,74983	48	9,00000	13,23607	94	2,00000	6,00000
3	1,00000	4,00000	49	1,00000	4,00000	95	11,17969	17,65471
4	8,00000	13,23607	50	8,57896	17,02483	96	26,37082	31,52585
5	7,00000	10,47214	51	1,00000	4,00000	97	1,00000	4,00000
6	12,48784	21,52289	52	30,59093	48,17917	98	1,00000	4,00000
7	6,66797	14,61605	53	1,00000	4,00000	99	15,28918	18,66311
8	2,68690	7,47599	54	22,09120	30,22881	100	5,00000	12,00000
9	24,66422	37,89249	55	110,85721	99,49502	101	9,00000	16,00000
10	6,00000	14,00000	56	1,00000	4,00000	102	2,00000	6,00000
11	2,00000	6,00000	57	3,00000	8,00000	103	3,00000	7,23607
12	1,00000	4,00000	58	16,82007	19,06055	104	8,00000	18,00000
13	116,08655	107,23504	59	1,00000	4,00000	105	1,00000	4,00000
14	1,00000	4,00000	60	87,37514	78,03809	106	4,00000	8,00000
15	6,10626	14,89096	61	3,00000	8,00000	107	2,00000	6,00000
16	3,00000	8,00000	62	1,00000	4,00000	108	2,00000	6,00000
17	6,00000	14,00000	63	22,78361	26,63043	109	1,00000	4,00000
18	1,00000	4,00000	64	18,06087	22,04344	110	1,00000	4,00000
19	1,00000	4,00000	65	1,00000	4,00000	111	1,00000	4,00000
20	1,00000	4,00000	66	118,71044	63,34652	112	1,00000	4,00000

## Annexes

21	9,82113	18,77198	67	9,38297	18,20932	113	6,00000	10,00000
22	2,00000	6,00000	68	1,00000	4,00000	114	5,00000	12,00000
23	1,00000	4,00000	69	35,09842	27,66994	115	1,00000	4,00000
24	1,00000	4,00000	70	2,00000	6,00000	116	9,83162	13,30504
25	1,00000	4,00000	71	2,00000	6,00000	117	30,99069	32,37764
26	194,96042	138,75897	72	1,00000	4,00000	118	1,00000	4,00000
27	1,00000	4,00000	73	2,65625	6,97680	119	4,00000	10,00000
28	2,00000	6,00000	74	3,60010	8,31921	120	1,00000	4,00000
29	15,01166	22,19338	75	2,00000	6,00000	121	7,17188	12,42558
30	34,50084	38,25570	76	2,00000	6,00000	122	21,30645	28,85144
31	1,00000	4,00000	77	1,00000	4,00000	123	1,00000	4,00000
32	1,00000	4,00000	78	6,56707	12,01218	124	21,73608	22,43519
33	1,00000	4,00000	79	1,00000	4,00000	125	68,80585	79,03414
34	1,00000	4,00000	80	18,00001	23,23607	126	1,00000	4,00000
35	1,00000	4,00000	81	1,00000	4,00000	127	2,00000	6,00000
36	1,00000	4,00000	82	4,80469	9,65471	128	3,00000	8,00000
37	1,00000	4,00000	83	3,00000	8,00000	129	1,00000	4,00000
38	1,00000	4,00000	84	1,00000	4,00000	130	7,00000	16,00000
39	19,59618	23,96163	85	3,08766	7,99886	131	19,03873	24,38980
40	2,00000	6,00000	86	1,00000	4,00000	132	92,89151	99,64229
41	10,00000	14,00000	87	24,05320	26,31329	133	17,59725	24,61687
42	2,00000	6,00000	88	2,00000	6,00000	134	3,00000	8,00000
43	18,05830	21,85297	89	1,00000	4,00000	135	56,06256	60,40636
44	1,00000	4,00000	90	3,00000	8,00000	136	1,00000	4,00000
45	13,23776	19,70143	91	1,00000	4,00000	137	2,00000	6,00000
46	142,97397	114,49902	92	1,00000	4,00000	138	11,17969	17,65471

## VIII. COMPLEXE RURAL

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)		AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1	5,15807	9,22415	42	3,37195	8,18894
2	23,09371	20,85030	43	1,00000	4,00000
3	1,00000	4,00000	44	2,00000	6,00000
4	1,00000	4,00000	45	17,27644	20,53083
5	1,00000	4,00000	46	12,58699	22,00260
6	13,67269	18,70855	47	71,72832	77,29352
7	1,00000	4,00000	48	1,00000	4,00000
8	7,76862	12,08326	49	1,00000	4,00000
9	1,00000	4,00000	50	28,27579	44,18225
10	2,68690	7,47599	51	1,00000	4,00000
11	5,41714	10,67719	52	7,33889	11,82010
12	14,17191	19,65119	53	6,00000	14,00000
13	2,19132	6,99003	54	1,00000	4,00000
14	4,00000	10,00000	55	14,01754	21,49224
15	12,07601	20,15068	56	3,00000	8,00000
16	2,00000	6,00000	57	1,00000	4,00000
17	10,00000	18,00000	58	8,22532	14,33964
18	1,43971	5,76001	59	3,00000	7,23607
19	5,87297	9,76224	60	49,30846	47,42622

## Annexes

20	4,00000	9,23607	61	42,98864	59,16045
21	1,00000	4,00000	62	1,00000	4,00000
22	7,06151	10,95533	63	15,00001	22,00000
23	2,00000	6,00000	64	1,00000	4,00000
24	31,08649	35,38422	65	22,00001	25,23607
25	31,06076	25,64475	66	61,14968	61,98593
26	2,00000	6,00000	67	1,00000	4,00000
27	2,00000	6,00000	68	9,30791	15,90315
28	0,68466	3,77286	69	0,64039	3,74983
29	29,59783	40,48628	70	2,00000	6,00000
30	9,27834	14,28787	71	31,86441	33,83916
31	27,17189	32,42559	72	8,74852	13,51350
32	0,64039	3,74983	73	2,34681	7,07260
33	9,76032	15,96813	74	7,76454	13,15159
34	4,00000	8,00000	75	5,00000	10,00000
35	2,00000	6,00000	76	2,00000	6,00000
36	7,00000	14,00000	77	6,98606	11,95757
37	9,00000	13,23607	78	4,94503	10,40685
38	1,00000	4,00000	79	34,11905	28,54462
39	155,96602	125,65646	80	1,00000	4,00000
40	44,89969	39,16473	81	142,24659	122,15197
41	7,90881	12,22880	82	1,00000	4,00000

## ANNEXE

## IX FORETS DENSES

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PER(km)		AIRE (km <sup>2</sup> )	PER (km)		AIRE (km <sup>2</sup> )	PER (km)
1	1		27	1,00000	4,00000	53	1,39521	5,43314
2	1	4,00000	28	1,00000	4,00000	54	1,00000	4,00000
3	1	4,00000	29	1,00000	4,00000	55	1,00000	4,00000
4	1	4,00000	30	1,00000	4,00000	56	1,00000	4,00000
5	1	4,00000	31	1,00000	4,00000	57	1,00000	4,00000
6	1	4,00000	32	1,00000	4,00000	58	1,00000	4,00000
7	1	4,00000	33	8,29086	13,00275	59	18,40984	20,08047
8	1	4,00000	34	1,00000	4,00000	60	3,78976	8,72050
9	1	4,00000	35	1,00000	4,00000	61	1,00000	4,00000
10	2,6	7,47599	36	1,00000	4,00000	62	1,00000	4,00000
11	2,6868 9	7,47599	37	3,00000	8,00000	63	1,00000	4,00000
12	8,1066 0	17,48540	38	4,77429	10,03976	64	1,00000	4,00000
13	1,0000 0	4,00000	39	1,00000	4,00000	65	396,6604 3	111,5366 6
14	1,0000 0	4,00000	40	1,00000	4,00000	66	1,00000	4,00000
15	1,0000 0	4,00000	41	1,36541	5,65887	67	155,8602 9	78,90741
16	1,0000 0	4,00000	42	1,00000	4,00000	68	1,34985	5,67374
17	1,0000 0	4,00000	43	13,31690	14,94884	69	6,00000	14,00000
18	1,0000 0	4,00000	44	1,00000	4,00000	70	1,00000	4,00000
19	1,0000 0	4,00000	45	1,00000	4,00000	71	2,00000	6,00000
20	1,0000 0	4,00000	46	1,00000	4,00000	72	1,43972	5,76001
21	1,0000 0	4,00000	47	1,00000	4,00000	73	5,48718	9,66247
22	1,0000 0	4,00000	48	1,00000	4,00000	74	2389,384 15	723,6744 0
23	1,0000 0	4,00000	49	1626,1485 7	267,40215	75	1,39521	5,43314
24	1,0000 0	4,00000	50	1,00000	4,00000	76	1,00000	4,00000
25	3,0000 0	8,00000	51	16,79771	18,02947	77	1,00000	4,00000
26	1,0000 0	4,00000	52	1,00000	4,00000	78	1,00000	4,00000

## ANNEXE

## X FORET SECONDAIRE VIUILLES

	AIRE (km <sup>2</sup> )	PERIMETRE (km)
1.	1,39521	5,43314
2.	1,39521	5,43314
3.	5,51067	11,02029
4.	1,00000	4,00000
5.	6,88098	12,13432
6.	2,68689	7,47599
7.	23,62840	19,61549
8.	3,54118	8,84565
9.	4,65625	10,97680
10.	3,61984	8,82115
11.	2,68690	7,47599
12.	50,97803	60,52699
13.	1,00000	4,00000
14.	1,00000	4,00000
15.	1,00000	4,00000
16.	328,51906	144,75748
17.	2,00000	6,00000
18.	8,53102	11,91885
19.	2,68690	7,47599
20.	1,00000	4,00000
21.	8,17602	11,98175
22.	1,00000	4,00000
23.	1,00000	4,00000
24.	1,00000	4,00000
25.	7,60616	15,14637
26.	3,54383	8,23550
27.	3,00000	8,00000
28.	1,00000	4,00000
29.	1,00000	4,00000
30.	1,00000	4,00000
31.	1,00000	4,00000
32.	6,38687	13,00742
33.	1,00000	4,00000
34.	258,21191	130,60793
35.	36,69586	40,49865
36.	2,00000	6,00000
37.	19,16016	21,74652
38.	5,00000	12,00000
39.	5,14107	11,52409
40.	1,00000	4,00000
41.	1,00000	4,00000
42.	1,00000	4,00000
43.	113,29279	84,86535
44.	2,00000	6,00000
45.	7,00000	16,00000
46.	15,87282	20,48442
47.	22,26021	21,70490
48.	1,00000	4,00000
49.	4,65625	10,97680

## ANNEXE

50.	0,68466	3,77286
51.	1,00000	4,00000
52.	1,00000	4,00000
53.	1,34985	5,67374
54.	1,00000	4,00000
55.	394,74951	227,62245
56.	1,00000	4,00000
57.	1,00000	4,00000
58.	8,47708	16,76975
59.	1,00000	4,00000
60.	71,04182	39,38343
61.	1,00000	4,00000
62.	1,00000	4,00000
63.	176,82201	98,77972
64.	1,00000	4,00000
65.	63,47458	41,86095
66.	1,00000	4,00000
67.	1,00000	4,00000
68.	1,00000	4,00000
69.	2,00000	6,00000
70.	11,92446	16,31603
71.	8,26007	17,43171
72.	1,00000	4,00000
73.	2,00000	6,00000
74.	1,00000	4,00000
75.	1,00000	4,00000
76.	11,34033	16,50551
77.	1,00000	4,00000
78.	1,00000	4,00000
79.	3,00000	8,00000
80.	6,44079	13,12613
81.	1,00000	4,00000
82.	1,00000	4,00000
83.	1,00000	4,00000
84.	5,00000	12,00000
85.	1,00000	4,00000
86.	12,98172	17,24499
87.	6,00000	14,00000
88.	3,00000	8,00000
89.	102,17875	56,81908
90.	62,55323	60,90240
91.	4,78315	9,22449
92.	2,00000	6,00000
93.	1,39521	5,43314
94.	12,82372	24,44716
95.	2,00000	6,00000
96.	1,39521	5,43314
97.	1,36540	5,65886
98.	8,58811	15,82420
99.	2,00000	6,00000
100.	1,00000	4,00000
101.	8,00000	17,23607
102.	0,64039	3,74983
103.	1,00000	4,00000

## ANNEXE

104.	4,00000	10,00000
105.	15,05226	16,76474
106.	233,74461	135,70792
107.	1,00000	4,00000
108.	17,97366	30,09401
109.	3,00000	8,00000
110.	1,00000	4,00000
111.	1,00000	4,00000
112.	1,00000	4,00000
113.	16,29806	24,65944
114.	11,16022	14,14682
115.	490,41972	194,39408
116.	149,47106	87,29250
117.	127,99176	103,23498
118.	30,57369	35,39525
119.	17,75681	17,05356

---