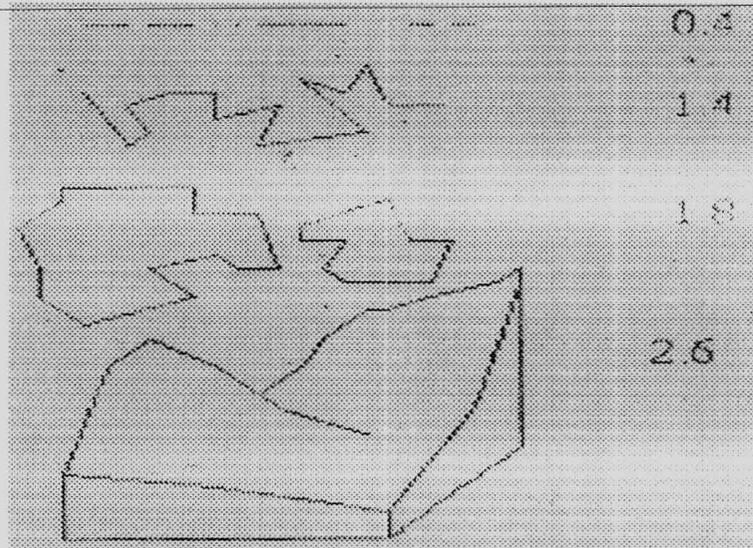


UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET GESTION
DES RESSOURCES ANIMALES
ET VÉGÉTALES

**ETUDE DE LA DIMENSION FRACTALE SUR LA
COMPLEXITE DE LA STRUCTURE SPATIALE DES
CLASSES DANS L'OCCUPATION DU SOL D'UN
ECOSYSTEME FORESTIER DE LA CUVETTE CENTRALE
CONGOLAISE**

(Cas de la réserve forestière « Jardin systématique » de l'INERA
à YANGAMBI)



Par

Albert UTSHUDI LUMBAHE – A – WEMBADIYU

Chef de travaux

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du

Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA)

Promoteurs : Pr. Jan BOGAERT (U.L.B)

Pr. Léopold NDJELE (UNIKIS / F.S)

ANNEE ACADEMIQUE 2006 - 2007

DEDICACE

A tous ceux qui œuvrent pour asseoir la spiritualité sur la planète terre,

A mon défunt père Jean WEMBADIYU

A ma mère EKANGA Madeleine

A ma défunte tante paternelle Marie NYEPA

A Mon épouse Sabine NDJEKA

A mes enfants :

- *Marie Christine EKANGA*
- *Stéphane FAMA USTHUDI*
- *Albertine NYEPA UTSHUDI*
- *Odette NYENDJATE UTSHUDI*
- *Jean Paul WEMBADIYU USTHUDI*
- *Paul WEMBASAKA UTSHUDI*
- *Nelly NDJEKA USTHUDI*
- *Sylvie ATANDJU UTSHUDI*
- *Christian UTSHUDI*

A tous mes petits-frères et ma petite sœur Rebecca NYEPA

Je dédie ce travail

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements au Professeur Jan BOGAERT, le Promoteur de ce travail pour s'être dévoué corps et âme dans la réalisation de ce travail en nous fournissant conseils et documentation car de lui nous avons appris que ce n'est parce que c'est dur qu'on ose pas mais c'est parce qu'on ose pas que c'est dur.

Nous remercions vivement le Professeur Léopold NDJELE pour avoir accepté d'encadrer ce travail et de coordonner les activités académiques, sociales et financières de ce DEA.

Puisse Monsieur le Professeur LE JOLY trouver dans ce travail, l'expression de notre gratitude pour nous avoir encouragé de continuer jusqu'au bout malgré les difficultés de tout genre.

Nous exprimons aussi notre gratitude aux Professeurs DUDU AKAIBE, Benoît D'HEDA et Victor MBUYI qui ont voulu bien que nous puissions évoluer au sein de la Faculté des Sciences. Nous avons appris de leur part que vouloir c'est pouvoir.

Nous exprimons notre reconnaissance à tous les Professeurs qui de loin ou de près ont contribué à notre formation.

Nous remercions Monsieur KASONGO KASONG le DCR de l'INERA YANGAMBI et ses collaborateurs, Ir. MUREFU et Ir. LONEMA ainsi que tout le personnel qui était impliqué de nous accompagner sur terrain pour leur disponibilité.

Nous remercions sincèrement le Professeur LOKOMBE pour tous les sacrifices consentis.

Nous remercions encore le frère MWANAPUNDA D.G de l'école HOME pour ses sacrifices et son aide matérielle.

Nous exprimons également notre gratitude à nos deux gendres, le Docteur Denis OKOKO et le Docteur Alain KIMPUTUT pour leur assistance matérielle et morale.

Nous n'oublierons pas nos deux amis de Belgique Messieurs BAMBA Issouf et Léon LYONGO pour les services combien louables rendus à la réalisation de ce travail.

Nous remercions grandement nos compagnons de lutte les Ingénieurs Agronomes Charles KAMBALE, Doctorant Sylvain SOLIA, CT LITUCHA et Doctorant Sylvain ALONGO Assistants à l'IFA / YANGAMBI et les autres collègues pour leurs conseils.

Nous adressons nos remerciements au Professeur TSHIPANGA et à l'Assistant BOYEMBA pour nous avoir assisté dans la réalisation de ce travail.

RESUME

Nous avons évalué l'état de fragmentation dans la réserve forestière de Yangambi. C'est une étude effectuée dans le domaine d'écologie du paysage qui est une matière jeune. Nous avons utilisé un support des données au format TIFF géo référencées sur l'occupation du sol de la réserve forestière de l'INERA Yangambi datée de 2007 pour effectuer l'analyse spatiale en utilisant la technique de calcul des indices et de la dimension fractale.

Huit classes de l'occupation du sol ont été mises en évidence afin de faciliter ces calculs et l'interprétation ultérieure de leurs résultats. Car le niveau « classe » représente d'une thématique qui compose le paysage. Les valeurs de la dimension fractale nous ont permis d'évaluer la complexité de formes de ces huit classes et de décrire l'état de dégradation.

Nous constatons que 4 classes possèdent un nombre de taches compris entre 74 et 135 tandis que les 4 autres ont un nombre de taches variant entre 4 et 16. Les tailles ne sont pas homogènes entre les taches de classes car les valeurs de l'étendue sont plus élevées, soit plus de 94% sauf pour la classe mosaïque forêt-savane où elle est égale à 89%.

La plus grande valeur de l'aire maximale est observée dans la classe forêt dense, elle domine à plus de 50% l'aire totale de la classe. Les valeurs de taux de fragmentation sont très faibles et proches de zéro soit variant entre 0.015 et 0.075 hormis pour la classe mosaïque forêt-savane où elle est de 0.23. Ces faibles valeurs de taux de fragmentation indiquent que 7 classes sur 8 sont fragmentées et seule la mosaïque forêt-savane est anthropisée.

Les valeurs extrêmes de périmètre de classe sont variables car elles se situent entre 10.43 et 723.67 km. C'est la classe forêt dense qui le contour le plus élevé soit 723.67 km, elle domine à plus de 47% du périmètre total.

Les valeurs de dimension fractale de ces 8 classes obtenues par méthode de droites de régression linéaire varient entre 1,08 et 1,39 hormis, pour la classe mosaïque savane où elle vaut 0,99. Ces valeurs signifient que ces classes ont des formes complexes, mais sont peu anthropisées, tandis que la classe mosaïque-forêt-savane de dimension fractale 0,99 est de forme simple, mais anthropisée.

Nous n'avons pas pu mener une étude diachronique parce que toutes les trois cartes de l'occupation du sol dont nous disposons sont identiques et de la même année 2006.

Mots clés : Ecologie du paysage, thématique, dimension fractale, fragmentation, géo référencée, occupation du sol.

SUMMARY

Fragmentation state in the reserve forest of Yangambi was assessed. This investigation was conducted in the field of landscape ecology which is considered as a recent field of research. We used a data frame of TIFF form geo-referred on soil occupation in the reserve INERA forest of Yangambi from 2007 to conduct a special investigation using calculation technique of indices and that of fractal dimension.

Eight classes of soil occupation were considered to facilitate calculation and for further interpretation of their results as the level "class" represents the thematic that composes the landscape. The values of this fractal dimension helped us to assess the complexity of the forms of these eight classes and also describe the deterioration state.

We noticed that 4 classes possess tasks ranged from 74 to 135 whereas 4 other have a number of tasks varying between 4 to 16. They are not homogenous between the tasks of classes as the values of their occupation are higher, more than 94% except for mosaic class savanna forest where it is equal to 89%.

The biggest maximal area value has been noticed in tick forest class which dominates over 50% of the total class area.

The fragmentation rate values are very weak near zero varying between 0.015 and 0.075 except for the mosaic class of the savanna forest where it is 0.23.

These weak rate values of fragmentation indicate that 7 classes over 8 are less fragmented and only the mosaic of the savanna forest is anthropised.

The values of fractal dimension of these 8 classes obtained by straight methods of linear regression varies between 1.08 and 1.39 except for the mosaic savanna where it is worth 0.99. These values signify that these classes are complex forms, but are less anthropised; whereas the mosaic savanna forest class of fractal dimension is 0.99 of the simple form though anthropised.

We didn't attempt a diachronic study because all the three maps of soil occupation we have in hand are identical and of the same year 2007.

Keys words: Landscape ecology, thematic, fractal dimension, fragmentation, geo-referred, soil occupation.

Liste des figures

Figure 1 : Le paysage est le produit d'attraction entre le milieu et les processus écologiques.

Figure 2 : Les niveaux différents de l'échelle spatiale

Figure 3 : Trois éléments clés influençant le fonctionnement d'un paysage

Figure 4 : La fragmentation

Figure 5 : La dimension fractale comme indice de complexité

Figure 6 : Dimension fractale

Figure 7 : carte de l'occupation du sol de la région de Yangambi

Figure 8 : Forêts denses

Figure 9 : Vieilles forêts secondaire

Figure 10 : Jeunes Forêt Secondaire

Figure 11 : Forêt Edaphique

Figure 12 : Mosaïque Forêt – Savane

Figure 13 : Prairie Aquatique

Figure 14 : Complexe Rural

Figure 15 : Agriculture

Figure 16 : Paysage

Liste des tableaux

Tableau 1 : La température moyenne de l'année

Tableau 2 : De précipitation mensuelle de l'année

Tableau 3 : La répartition de la population de Yangambi tel que recensée en 2006.

Tableau 4 : 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 5 : En rapport avec le nombre de tâches

Tableau 6: Indices en rapport avec les valeurs extrêmes des aires, de l'étendue, de la dominance et du taux de fragmentation des classes.

Tableau 7 : Indice se rapportant aux valeurs extrêmes de périmètre, de l'étendue, de la dominance et du périmètre moyen des classes

Tableau 8 : se rapportant aux valeurs extrêmes des formes, de l'étendue de formes et de la moyenne des formes des classes

Tableau 9 : Les valeurs des pentes et préfacteurs des classes et du paysage (unités km et km²)

Tableau 10 : Les valeurs des pentes de facteur de la forme des classes

Tableau 11 : Comparaison des valeurs des pentes et des préfacteurs avec variation d'unités

Tableau 12 : Tableau comparatif de valeur de dimension fractale des travaux antérieurs

Liste photo

Photo 1 : Vue de la végétation dans la bananerais

Photo 2 : Vue de la végétation dans la jachère et plantation d'hévéas

Photo 3 : Vue de la végétation dans la forêt secondaire

Photo 4 : Vue de la végétation dans la forêt primaire

TABLE DES MATIERES

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Summary	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Table des matières	
INTRODUCTION.....	1
PROBLEMATIQUE.....	1
HYPOTHESE.....	2
OBJECTIFS.....	2
Objectif global.....	2
Objectifs spécifiques.....	2
BUT.....	2
SUBDIVISION.....	2
CHAPITRE PREMIER : GENERALITES.....	4
I.1. NOTION D'ÉCOLOGIE DU PAYSAGE.....	4
I.1.1. Histoire de l'écologie du paysage.....	4
I.1.2. Paysage.....	5
I.1.3. L'écologie du paysage.....	8
I.1.4. Notion d'indice de structure du paysage.....	11
I.1.5. La dimension fractale.....	13
1.2. MILIEU D'ÉTUDE.....	15
1.2.1. Aspect géologique.....	16
1.2.2. Géomorphologie.....	16
1.2.3. RELIEF.....	16
1.2.4. CLIMAT.....	17
1.2.5. SOL.....	18
1.2.6. VEGETATION.....	20
1.2.7. Influence des activités humaines.....	23
1.2.8. Travaux antérieurs.....	24
CHAPITRE DEUXIEME : MATERIELS ET METHODES.....	25
II. 1. MATERIEL.....	25
II.1.1. GPS et photo numérique.....	25
II.1.2. Données cartographiques.....	26
II.2. METHODES.....	26
II.2.1. Délimitation de la zone d'étude.....	26
II.2.2. Production de la carte de l'occupation du sol.....	26
II.2.3. ANALYSE DE LA STRUCTURE SPATIAL.....	29
II.3.1. Indices de configuration spatiale.....	29
II.2.3.1.1. Niveau de tâches.....	30
II.2.3.1.2. Niveau des classes.....	31
II.2.3.1.3. Indice en rapport avec l'aire des classes.....	32
II.2.3.1.4. Indice en rapport avec le périmètre des classes.....	34
II.2.3.1.5. Indice en rapport avec la forme des classes.....	35
II.2.3.1.6. Taux de fréquentation de la classe.....	36
II.2.3.1.7. Dimension fractale.....	36

CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS ET DISCUSSIONS	36
III.1. RESULTATS	36
III.1.1. Données Cartographiques.....	36
III.1.2. Analyse de la Structure Spatiale.....	37
III.1.2.1. Niveau des classes	39
III.1.2.1.1. Nombre de tâches.....	39
III.1.2.1.2. Indice en rapport avec l'aire des classes.....	40
III.1.2.1.3. Indice en rapport avec le périmètre.....	41
III.1.2.1.4. Indice en rapport avec la forme des classes.....	42
III.1.2.2. Dimension fractale.....	43
III.1.2.2.1. Figures de droites de régression.....	44
3.1.4. La variabilité du facteur de graduation utilisé dans la méthode d'estimation de la dimension fractale.....	47
III.2. DISCUSSION	50
III.2.1. Méthodologie.....	50
III.2.2. Comparaison des valeurs de dimension fractale.....	52
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
ANNEXES: DONNES BRUTES	

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE.

L'apparition ou disparition des espèces végétales et animales est un phénomène naturel normal qui a toujours existé. Environ 90% de toutes les espèces qui ont vécu sur la terre depuis l'apparition de la vie il y a quelques 3 milliards d'années sont maintenant disparues. Mais actuellement, c'est plusieurs certaines d'espèces qui disparaissent chaque année du fait des activités humaines (BERNARD RIBERA, dans DUDU 2007).

La conférence de Rio de Janeiro, elle-même en 1992, a donné lieu à la célèbre déclaration des principes, juridiquement non contraignante mais faisant autorité pour l'aménagement et la conservation des tous les types des forêts, mais son application tarde toujours. Et ces principes, critères et indicateurs sont avant tout un outil qui doit servir à favoriser la définition et surtout la mise en œuvre du concept gestion durable (LE JOLY, 2007).

L'INERA Yangambi est un grand centre au sein du District d'Isangi. Il y a actuellement une forte concentration de population paysanne. Cela a comme corollaire l'intensification de la pression sur les ressources naturelles et une surexploitation de cultures itinérantes sur brûlis, l'abattage d'arbres, en vue de fabriquer du charbon bois et la cuisson de briques.

L'occupation du sol étant une matérialisation spatiale des activités humaines dans l'espace géographique, sa dynamique mérite d'être quantifiée par l'analyse de cette portion du paysage à l'aide de la dimension fractale, des indices de configuration et de forme.

Nous tenterons de montrer comment l'analyse d'un paysage et de ses composantes peuvent contribuer à mettre en évidence la dynamique spatio temporelle de l'occupation du sol dans cette région de YANGAMBI.

Si les hommes de sciences et politiques se préoccupent de la biodiversité et s'ils s'inquiètent de la protéger, c'est qu'on lui reconnaît une valeur en tant que ressource matérielle et immatérielle (biens culturels). C'est que l'on pense qu'elle joue un rôle dans le fonctionnement des écosystèmes dont nous dépendons en dernier ressort.

Les agents de la déforestation sont pour la plupart les organismes nationaux et internationaux qui sont responsables de projet de développement et qui défrichent les forêts. Cette dégradation de forêts est le produit de l'interaction de nombreuses forces environnementales, sociales, économiques, culturelles et politiques agissant à Yangambi, tels que la pratique de culture sur brûlis, la récolte de bois de chauffe et fabrication du charbon de bois et de briques. D'où la nécessité de caractériser et de quantifier la structure spatiale de cette zone en vue de déterminer son état de dégradation.

HYPOTHESE

- L'état de fragmentation de la réserve forestière de Yangambi serait intense,
- L'état de déforestation de la réserve forestière ne serait pas intense.

OBJECTIFS

Objectif global.

La présente étude consiste en général à appliquer les techniques d'Ecologie du Paysage sur un Paysage rural de Yangambi en vue de caractériser et quantifier sa dynamique spatio-temporelle.

Objectifs spécifiques

- Calculer la dimension fractale de 8 classes plus le paysage.
- Calculer les indices en rapport avec les aires, les périmètres et les formes des classes
- Vérifier la constance du facteur de graduation.

BUT

Le but principal de cette étude est de quantifier la complexité de la structure spatiale de 8 classes dans l'occupation du sol de la région de Yangambi.

SUBDIVISION

Hormis la problématique, l'objectif, les hypothèses et le but, le présent travail comporte 3 chapitres suivants:

- Le premier chapitre expose les généralités ;
- Le deuxième présente les matériels et méthodes ;
- Le troisième donne les résultats et les discute.

Une conclusion et recommandations clôturent ce travail.

Chapitre Premier : GENERALITES

I.1. NOTION D'ÉCOLOGIE DU PAYSAGE.

I.1.1. Histoire de l'écologie du paysage

L'écologie du paysage est une science récente et en évolution. Le terme « écologie » proposé par Haeckel 1866, biologiste allemand, désigne la science qui étudie les relations des êtres vivants avec le milieu. Mais étymologiquement, le mot écologie associe les mots grecs « oikos » (habitat) et « logos » (science) qui signifie la science de l'habitat. L'écologie 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, 2003). Plusieurs disciplines ont influé sur l'évolution de l'écologie.

De la persistance de principes issus de la botanique et de la zoologie découle un intérêt marqué pour les niveaux d'organisation correspondant à l'individu (autécologie), puis analyse d'ensembles d'espèces (peuplement, communauté) dans des milieux « naturels » (synécologies) et enfin prise en considération des systèmes complexes intégrant l'homme et ses activités (écosystèmes) (SHEAIL, 1987 et BAUDRY, 2003; BARNAUD et LEFEUVRE, 1992 BUREL et BAUDRY, 2003 dans BAMBA 2006). L'écosystème défini par DUVIGNEAUD (1980) dans BUREL et BAUDRY, 2003) comme une biocénose homogène, qui se développe dans un environnement homogène est resté un concept clé en écologie.

Au cours de son histoire, les objectifs d'étude de l'écologie se sont progressivement complexifiés de l'individu au paysage. Cette évolution s'est faite en relation avec le développement des sciences en général et plus récemment des technologies (DJIBU 2007).

L'écologie du paysage est l'une des sciences les plus jeunes de l'écologie. C'est CARL TROLL qui a introduit le terme écologie du paysage en 1930, suite à des photographies aériennes (TROLL, 1939 dans BUREL et BAUDRY, 2003). Ce biogéographe allemand avait pour objectif de combiner deux disciplines – la géographie et l'écologie en reliant les structures spatiales aux processus écologiques (BUREL et BAUDRY, 2003). Elle fut mise au point après la deuxième guerre mondiale dans les pays du centre et de l'Est de l'Europe (NAVELS et LIEBERMAN, 1984).

A cette époque, face aux questions relatives aux interactions entre les activités humaines d'une part et des ressources offertes d'autre part, l'écologie du paysage était un outil professionnel servant principalement à résoudre les problèmes des architectes paysagistes, des planificateurs et des restaurateurs, constructeurs des paysages (BOGAERT et MAHAMANE sous presse). Mais cela ne constituait qu'un aspect qui plus tard a fusionné avec un second développé en Amérique du Nord au cours de ces deux dernières décennies. Celui – ci est caractérisé par une base théorique et des méthodologies sophistiquées. Les deux groupes se sont rejoints pour former l'IALE (international Association of Landscape Ecology, FARINA 1998).

Les pressions anthropiques sur les paysages naturels, associés à l'évolution démographique mondiale vont encore augmenter durant les décades à venir, ce qui nécessitera le développement de techniques et modèles adéquats pour évaluer les interactions et les ressources naturelles (BOGAERT et al, sous presse). Fruit d'une dynamique naturelle et des activités humaines, les paysages constituent les socles de l'étude de l'écologie du paysage d'où la nécessité d'expliquer ce terme et des éléments qui le composent.

I.1.2. Paysage

I.1.2.1. Définitions

Parmi les éléments qui nous relient à notre milieu, le paysage occupe une place privilégiée. Le paysage a été utilisé dans de nombreuses disciplines avant d'être objet d'étude en écologie, par exemple la peinture, l'architecture, la littérature et la géographie (BAMBA, 2006).

La notion du paysage s'est considérablement développée ces dernières années. Elle est devenue constante pour la gestion de l'espace, en particulier pour la protection et la gestion durable du patrimoine naturel et culturel. La conception « paysage suisse » qui résulte de la concertation des services fédéraux concernés, accorde une importance particulière à la relation que nous entretenons avec le paysage. Son approche est globale : elle tient compte de tous les aspects, tant de la perception, de l'appréciation et de l'identification que les intérêts liés à son utilisation.

Dans le cadre des différentes approches qui convergent vers l'écologie du paysage, celui-ci a été défini de plusieurs manières. Les définitions peuvent toutes fois être groupées en trois approches :

- Selon la première approche, le paysage est déterminé par les facteurs environnementaux majeurs (climats, géologie, topographie) ainsi que par les facteurs environnementaux qui dépendent de leurs interactions telles que le sol, l'hydrologie et la végétation : A ces facteurs vient se rajouter l'impact, de plus en plus important, des activités humaines c'est-à-dire l'impact anthropique.
- La seconde approche est celle de l'environnement perçu comme un organisme vivant quelconque, notamment comme une hétérogénéité spatiale du point de vue de ses fonctions vitales.
- La troisième est centrée sur la perception par l'homme. Du point de vue historique, l'écologie du paysage a tiré ses origines dans cette approche. Le paysage est formé du point de vue anthropocentrique, par des entités fondamentales qui ont un sens pour la vie de l'homme.

Les trois approches ne s'excluent pas mais se complètent mutuellement. Enfin dans la perception de la gestion de l'espace, la vision axée sur l'homme et la satisfaction de ses besoins sont incontournables. Pour pouvoir réaliser une gestion durable du paysage, toute fois il faut tenir compte des facteurs et processus abiotiques et biotiques qui structurent le paysage, ainsi que des besoins des organismes vivants.

Les scientifiques ont présentés plusieurs définitions pertinentes de fois différentes selon leurs spécialités. Ainsi le paysage est défini comme :

- Un espace hétérogène, cohérent et dynamique qui résulte de la conjonction évolutive des facteurs écologiques, sociaux, culturels et économiques, mais qui est perçu d'une manière unitaire et distincte de ses voisins ;
 - Un ensemble cohérent d'écosystème en interaction ;
 - Un niveau distinct d'organisation écologique, un système constitué d'une mosaïque d'écosystèmes différents en interaction intégrant des processus naturels et anthropiques. (SCHLAEPFER 2002 dans BOGAERT 2007) ;
 - Une étendue de pays qui présente une vue d'ensemble à son observateur (PETIT LAROUSSE 1974)
 - Un ensemble d'éléments essentiellement stables et permanents où se produisent les mécanismes cycliques et pénalisés de l'écosystème ; le paysage est la structure de l'écosystème par opposition au fonctionnement de l'écosystème (BAMBA 2006) ;
 - Une portion de territoire hétérogène composée d'un ensemble d'écosystème ou interaction qui se répètent de façon similaire dans l'espace (FORMAN et GODRON, 1986);
-

- 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, 1996) dans FARINA 1988.

Le paysage se rapporte à une aire relativement large, d'une façon générale de quelques hectares à quelques centaines de Km² (FORMAN et GODRON 1986). D'après FORMAN et GODRON (1986), les paysages d'aujourd'hui sont le résultat de cinq grands processus naturels : la géomorphologie, le climat, l'établissement des plantes des animaux, le développement du sol et les perturbations naturelles.

Cependant, nous ne pouvons pas négliger le fait que le paysage soit également la résultante d'une confrontation continue entre la société et son milieu.

Les activités humaines s'avèrent être le facteur principal d'évaluation des paysages au niveau planétaire. L'hétérogénéité de l'espace et du temps qui en résulte contrôle des nombreux mouvements et flux d'organismes de matière et d'énergie. La démarche adoptée en écologie du paysage intègre donc l'objet d'étude le paysage, ses déterminants- le milieu et la société et ses effets sur le processus écologique étudiés.

Le paysage est la résultante d'une dynamique entre le milieu physique et l'activité des sociétés humaines qui s'y sont développées fig. 1 (BOGAERT 2007). La structure spatiale, l'organisation, la dynamique du paysage sont en interaction constante avec les processus écologiques qui s'y déroulent. (BUREL et BAUDRY, 1991).

En écologie du paysage, le paysage est considéré comme un écosystème, c'est-à-dire un espace géographique composé d'écosystème en interaction.

La figure donne le paysage qui est le produit d'attraction entre le milieu et les processus écologiques.

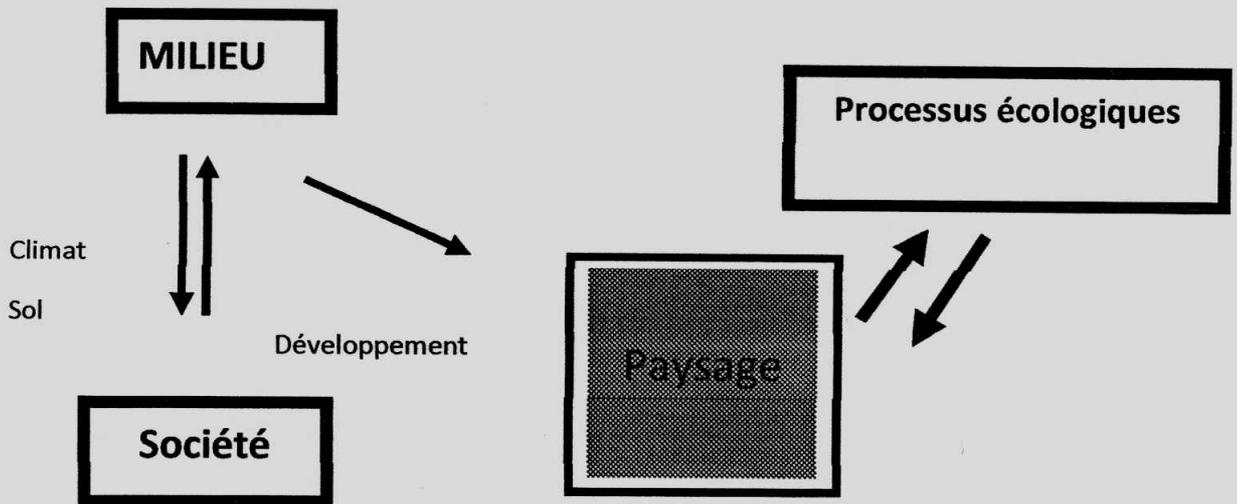


Figure 1. *Le paysage est le produit d'attraction entre le milieu et les processus écologiques.*

Cette Figure 1 est la 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. La structure, l'organisation et la dynamique du paysage sont en interaction constante avec les processus qui s'y déroulent.

I.1.3. L'écologie du paysage

I.1.3.1. Définition

L'écologie du paysage étudie la dynamique spatio-temporelle des composantes écologiques, physiques et sociales des paysages humanisés et naturels (BOGAERT, 2007).

L'écologie du paysage englobe plusieurs disciplines telles que l'architecture du paysage, les sciences naturelles, la géographie et les sciences sociales.

Elle considère donc l'effet de l'échelle spatiale sur le fonctionnement des écosystèmes, et met l'accent sur les vastes échelles d'espace et les effets écologiques du mode d'organisation spatiale des écosystèmes. Fig. 2. (BOGEART 2007).

Les niveaux différents de l'échelle spatiale sont donnés à la figure 2 :

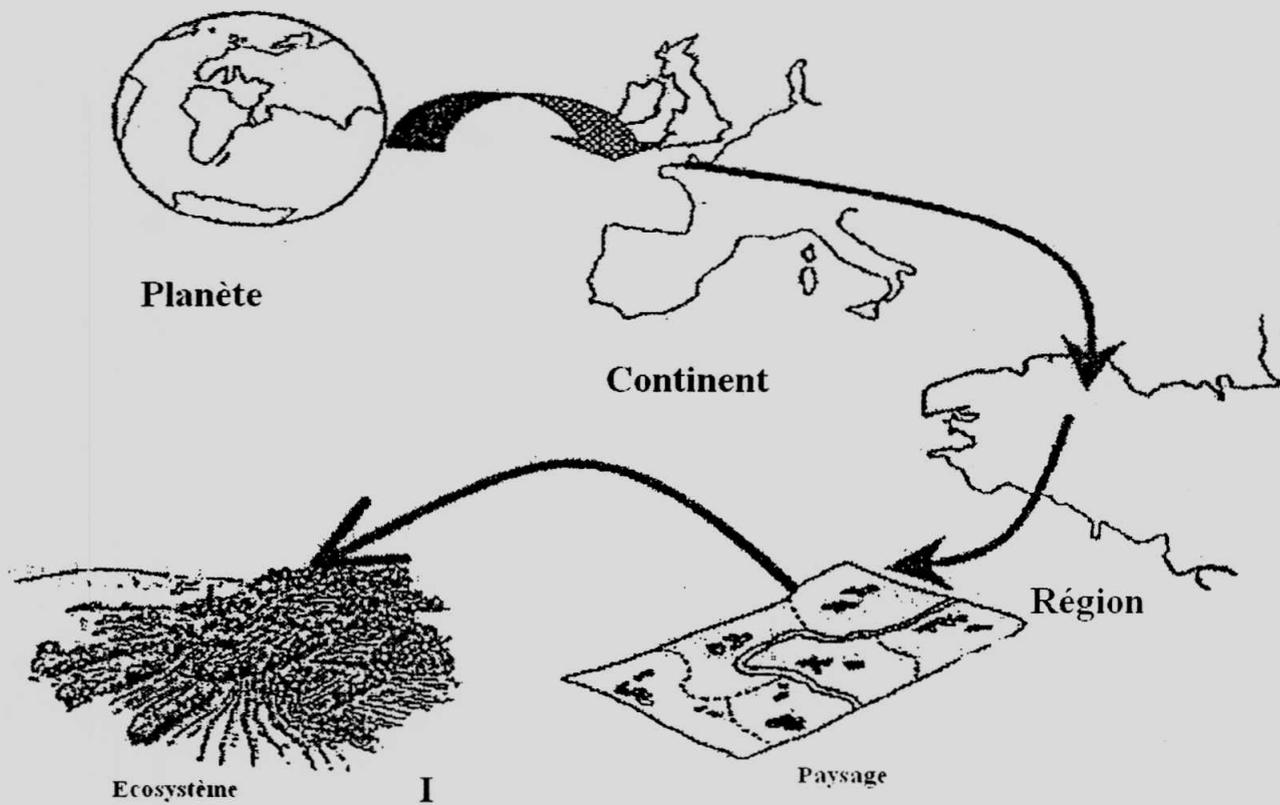


Figure 2 : Les niveaux différents de l'échelle spatiale

La Figure 2. Représente le paysage comme niveau d'organisation des systèmes écologiques, situé au dessus de l'écosystème, mais en dessous de sa région et du continent BUREL F et BAUDRY J 1999

I.1.3.2. La structure du paysage

Les paysages sont distingués par les relations spatiales entre leurs éléments. La structure du paysage est caractérisée par sa composition, sa configuration et son fonctionnement. C'est-à-dire chaque système écologique est caractérisé par une interdépendance des trois éléments clés : sa configuration, sa composition et son fonctionnement. Tout changement d'un des éléments aura des conséquences sur les deux autres (BUREL et BAUDRY J 1999).

Et si la structure spatiale d'une composante paysagère change par exemple 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. (BOGAERT et MAHAMANE, 2005).

Sa 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 du paysage est importante pour beaucoup d'organismes ou processus écologiques. Par exemple des nombreuses espèces de vertébrés ont besoin d'un habitat spécifique. (SCHLAPFER 2002 dans BOGAERT 2007). Par conséquent, la superficie totale favorable disponible dans le paysage devrait être une variable déterminante pour la présence et l'abondance d'une espèce.

Certaines espèces ont besoins pour leurs fonctions vitales d'une taille minimale d'habitat contiguë. Une statistique de la taille de l'unité de type favorable est utile pour comprendre le comportement d'une telle espèce dans un paysage.

I.1.3.3. Importance de la structure spatiale en écologie du paysage

L'importance de la structure spatiale des écosystèmes paysagers pour éclairer des processus écologiques est reconnue par la communauté écologique (FORTIN, 2002 dans BOGAERT et MAHAMANE, sous presse). Chaque système écologique est caractérisé par une interdépendance de trois éléments clés : sa configuration, sa composition et son fonctionnement. Un changement d'un des éléments aura des répercussions sur les deux autres (BOGAERT et MAHAMANE, sous presse).

Le paysage a des propriétés que ses parties ne possèdent pas. 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. Et si la structure spatiale d'une composante paysagère change, par exemple 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 de paysage (BOGAERT et MAHAMANE, sou presse).

La figure 3 donne les trois éléments clés qui influencent le fonctionnement d'un paysage.

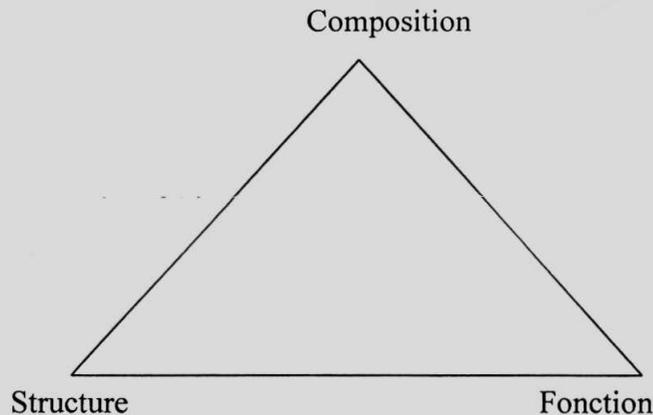


Figure 3 : Trois éléments clés influençant le fonctionnement d'un paysage

La Figure 3 représente les éléments clés de chaque système écologique applicable à chaque échelle spatio-temporelle : structure – composition - fonction. Le fonctionnement d'un paysage est influencé par les deux autres éléments : la composition et la structure vert la dynamique du paysage.

A la structure spatiale, sont généralement liés les concepts suivants :

- La fragmentation est un phénomène caractérisé par une diminution de la surface totale d'un habitat et son éclatement en fragments, ou plus simplement par une rupture de continuité (Figure 4) (BUREL et BAUDRY, 2003) ;
 - La connectivité, c'est la fait que deux tâches de même type soient adjacentes, jointes, dans l'espace ; c'est donc un processus essentiel de la dynamique des paysages après perturbation ou abandon des terres agricoles (BUREL et BAUDRY, 2003) ;
 - L'hétérogénéité, le paysage est souvent défini comme une mosaïque spatialement (et temporellement) hétérogène (RISSER et al., 1983 dans BUREL et BAUDRY 2003, FORMAN, 1995), d'où l'intérêt de définir le concept de l'hétérogénéité ; l'hétérogénéité a deux composantes qui sont la diversité des éléments (la composition qui est fonction de la richesse et de l'équitabilité) du paysage et la complexité de leurs relations spatiales (configuration). (ANDERSON 1991)
-

I.1.4. Notion d'indice de structure du paysage

Afin d'étudier les rapports entre configuration du paysage et les processus écologiques, il est utile de décrire les structures en termes quantifiables. Ceci explique le développement d'une série d'indices (land scope metries) (BOGAERT 2007)

Il est nécessaire d'utiliser plusieurs indices, afin de caractériser la structure spatiale d'un paysage. A cet effet, beaucoup d'indices sont à la disposition des écologues. Car les mesures sont souvent un indicateur de l'impact humain sur la morphologie du paysage (sur la composition et la configuration de paysage). Il est aussi vrai qu'aucune mesure ne peut résumer à elle seule toute la complexité de l'arrangement, la configuration de tâches, un ensemble des tâches spatiales doit être utilisé (BOGAERT 2007).

La structure du paysage peut être mesurée, soit en utilisant les statiques et s'exprimer en termes d'unités de paysage (taille, forme, abondance, dispersion des tâches), soit être traduite par le rapport spatial entre les tâches d'un paysage (BOGAERT 2007). D'autres subdivisions séparent les mesures de configuration (mesurant la géométrie des tâches et la répartition spatiale des mesures de la composition de paysage (proportion, richesse, équitabilité, dominance). BOGAERT et MAHAMANE, 2005),

Néanmoins, il est probable de se retrouver dans une redondance de mesures de configuration en utilisant plusieurs indices. Car beaucoup des mesures employées pour quantifier l'hétérogénéité spatiale sont corrélées (BOGAERT et MAHAMANE 2005). Une solution proposée pour éviter le calcul et l'interprétation de beaucoup d'indices est de décrire les composantes fondamentales du modèle spatial qui sont indépendantes et de développer une série des mesures pour les caractériser (BOGAERT et MAHAMANE 2005)

L'hétérogénéité spatiale peut-être définie par une approche caractérisée par quatre éléments fondamentaux de la configuration, beaucoup plus simple et plus pratique proposée en fig. 4 :

- La taille des taches et leur distribution des fréquences ;
 - Les périmètres des taches et leur distribution des fréquences
 - Le nombre des tâches par type et
 - La répartition spatiale des taches.
-

La fragmentation, comme le montre la figure 4 est le processus responsable de la dynamique spatiale du paysage. Elle produit beaucoup de changements quantifiables du paysage : une surface réduite d'habitat, un accroissement des bords, une aire intérieure réduite, un isolement des taches et une augmentation du nombre des taches (DAVIDSON, 1998 dans BOGAERT et MAHAMANE, 2005) phénomène caractérisé par une diminution de la surface totale d'un habitat et son éclatement en fragments, ou plus simplement par une rupture de continuité (BUREL et BAUDRY, 2003).

La figure 4 donne l'illustration de la fragmentation.

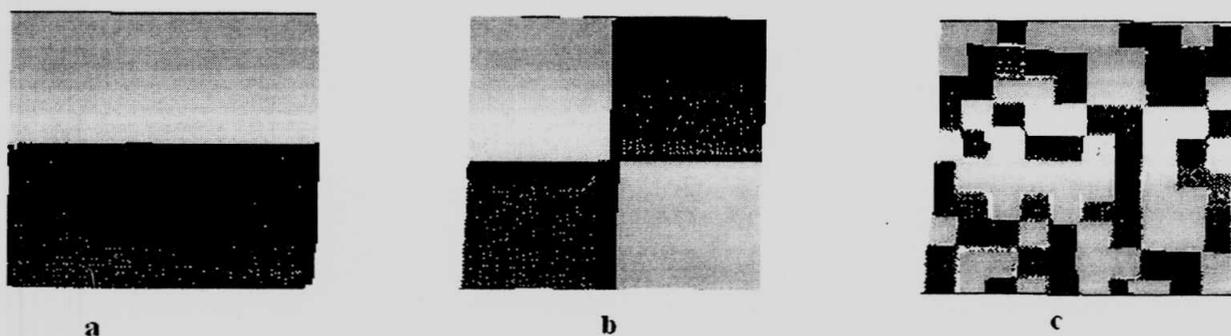


Figure 4 : La fragmentation

On observe une augmentation du degré de fragmentation par l'augmentation du nombre de taches, par la diminution de la taille des taches, par la rupture de continuité et l'augmentation de l'isolation. (BUREL et BAUDRY, 2003 ; BOGAERT et MAHAMANE, sous presse).

1.1.5. La dimension fractale

En mathématique, un objet fractal est un objet ayant une homothétie interne c'est-à-dire une portion de l'objet qui reste identique à l'objet complet.

La théorie de fractale donne des méthodes de description des irrégularités de formes naturelles. (voir figure 5) et la dimension fractale (notée D) est considérée comme une mesure de complexité du paysage (KENKEL, 1996).

La Figure 5 présente la dimension fractale comme indice de complexité

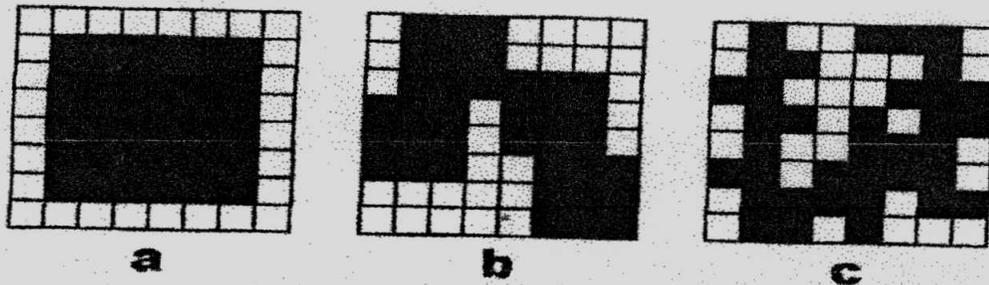


Figure 5 : La dimension fractale comme indice de complexité

En a) une tache régulière caractérisée par $D = 1$. En b) une tache de complexité intermédiaire caractérisée par $1 \leq D \leq 2$ et en c) une tache de complexité élevée qui est caractérisée par $D \approx 2$. Les trois taches ont une aire identique de 36 pixels (BAMBA, L. LYONGO, A. IMRE, Z.Q. Li, R. ROUSSEAU, J. ULYEL Ali PATHO et BOGAERT 2007)

C'est le mathématicien Benoît MANDELBROTT (1992) qui a introduit le concept de fractale. Le terme fractal d'après MANDELBROTT vient du mot latin *fractus* qui signifie irrégulier, brisé, tortueux, ... Le mérite de la géométrie fractale est précisément d'avoir permis de caractériser les degrés ou niveaux d'irrégularités relatives qui signent l'hétérogénéité morpho structurale de l'objet.

La dimension fractale D_f utilise essentiellement le rapport entre périmètre et surface et elle a été proposée par MANDELBROTT en 1997 dans le but de quantifier la forme d'objet complexe (SCHLAEPFER, 2002). Elle décrit la complexité d'une forme. C'est donc l'indice de complexité du paysage.

Généralement, des formes géométriques simples ou régulières telles le cercle, le carré ou rectangle a une dimension fractale proche de l'unité ; mais est anthropisée. Cependant lorsque la dimension fractale augmente et se rapproche de 2 la complexité de la frontière croit. (DANIELLE DUCROT, 2005)

Il est caractérisé par une forme, soit extrêmement irrégulière soit extrêmement interrompue ou fragmentée et qui le reste quelque soit l'échelle d'examen. La dimension fractale est une mesure de la façon dont la fractale occupe l'espace. De façon intuitive, la dimension fractale indique un certain degré d'occupation de l'espace physique par une forme fragmentée, ramifiée, tortueuse. En d'autres termes, la D_f décrit la complexité d'une forme. C'est l'indice de complexité. Ainsi la dimension

fractale d'un point est zéro, celle de la ligne est 1, celle d'une ligne brisée est de 1,4 celle d'une surface est d'environ 2 et celle d'un volume vaut environ 3. (cf. Fig. 6)

La figure 6 décrit le degré de complexité d'une forme à l'aide de la Dimension fractale

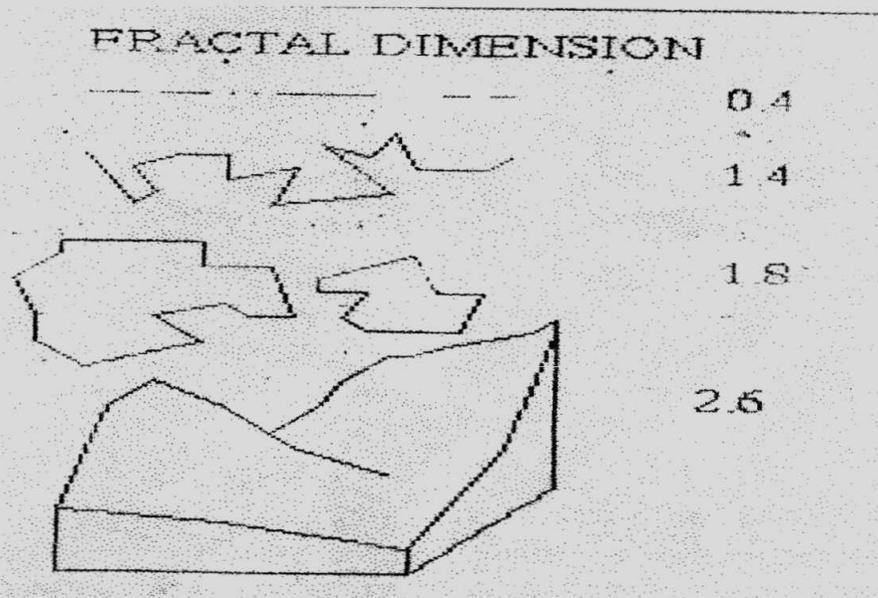


Figure 6 : Dimension fractale

La figure 6 décrit la complexité du paysage sous plusieurs formes en suivant une échelle de graduation.

1.2. MILIEU D'ETUDE

Notre zone d'étude est située dans la province orientale en RDC. Celle – ci est l'une des plus importantes de 11 Provinces que comprend la RDC du fait de l'abondance de sa biodiversité et de ses entreprises industrielles et minière tels que l'Office des Mines de KILO-MOTO, BRALIMA, SOTEXKI, PHC etc. Le site d'étude est dans la région de Yangambi qui est situé à 100 Km environ à l'Ouest de la ville de Kisangani chef - lieu de la Province Orientale. A l'époque Coloniale, l'INERA (Institut national pour l'Etude et la Recherche Agronomique a acquis en 1933 par arrêté Royal Belge de Novembre 1933 portant sa création DRACHOUSSFF et al, 1991 dans KOMBELE 2004), une concession s'étendant sur 6297 Km².

Selon BEGUIN 1961 dans KOMBELE 2004, cette concession à cheval sur le fleuve Congo à Yangambi, s'étend jusqu'aux sources de l'affluent Lobito au Nord et YAKUSU à l'Est, longe les

affluents Romée et Lobaye au Sud, au Nord l'affluent Lomami, et va jusqu'au-delà de la rivière Lufindo à l'Ouest. Elle correspond à une étendue comprise entre 24° 16' 95'' et 25° 08' 48'' longitude Est. 0° 38' 77'' et 1° 10' 20'' latitude Nord. C'est-à-dire dans un quadrilatère formé par les méridiens passant à 267 1440 m et 2782750 m longitude Est et les parallèles à 43010 m et 110940 latitude Nord.

Mais notre étude est menée dans Yangambi Centre, zone située dans le carré formé par les méridiens à 2718610 m et 2739370 m de longitude Est et les parallèles 82640 m et 103390 m latitude Nord. Ce milieu d'étude qui est la réserve forestière de Yangambi couvre une superficie de 220000 ha, répartie en zone centrale (60.000 ha) zone tampon autour de la zone centrale et habitée par la population (146000 ha) et la zone expérimentale de Lilanda-Boonde (14000 ha). La zone inhabitée est soumise à la conservation intégrale des espèces animales et végétales. Toute forme d'exploitation y est proscrite.

Mais c'est à partir de 1975 qu'on a commencé à distribuer les terres aux agents de l'INERA pour les cultures itinérantes sur brûlis afin de soulager tant soit peu leur misère.

I.2.1. Aspect géologique

Dans la région de Yangambi, le substrat géologique de profondeur est constitué par l'étage de Lola ou Loya attribué au jurassique supérieur (De HEINZETIN, CAHEN dans KOMBELE 2004).

Ce substrat a été recouvert par des dépôts de sables fluvio lacustres et éoliens qui constituent la série géologique dite Yangambi vers la fin du tertiaire et au quaternaire (CAHEN dans KOMBELE).

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)

Les sédiments issus de sables éoliens sont à diviser à 3 grands groupes distincts.

- 1) Les sables éoliens non remaniés autochtones du pléistocène inférieur
 - 2) Les sables éoliens remaniés peuvent être de l'Epi-Pléistocène ou de sa fin.
 - 3) Les sables, colluvionnaires récents des bas de pentes De HEINZELIN (1952).
-

1.2.2. Géomorphologie

Les observations faites des prospections pédo-botaniques montrent deux entités géomorphologiques nettement distinctes. Les deux entités, plateaux sablonneux et la plaine alluviale, sont séparées par un escarpement (VAN WAMBEKE et EVRARD, 1954).

1.2.3. RELIEF

Le relief de Yangambi est représenté par une succession des plateaux entrecoupés des vallées (MIKOBI, 1974).

a) Le plateau.

Il est constitué par une surface horizontale, les seules irrégularités sont dues principalement aux termitières. L'altitude des plateaux croit en s'éloignant du fleuve Congo vers le Nord, pour atteindre un maximum sur la crête Congo, Aruwimi. L'altitude moyenne est environ 80m au dessus du niveau moyen du fleuve.

b) Pente et vallée

L'altitude des fonds de vallée qui est presque horizontale et les fonds sur lesquels coulent les rivières varient entre 10 et 20 m au dessus du niveau moyen du fleuve. A partir du sommet jusqu'à 15 m au dessus des rivières, la pente est modérée et varie de 2 à 4%. A partir de cette altitude jusqu'au fond des vallées, la pente est généralement prononcée ; toutefois la pente du terrain dans le sens d'écoulement des eaux de rivières est peu prononcée et ne dépasse guère 0,50%. Notre topo séquence est un cas typique où la pente générale est de l'ordre de 3%.

1.2.4. CLIMAT

D'après BERNARD (1945), Yangambi jouit d'un climat équatorial appartenant au type Af de la classification de KOPPEN et à la classe B de celle de THORNTHWAITTE. (LOKOMBE, D., 2004)

Les tableaux 1 et 2 reprennent les données climatiques de 5 ans soit de 2000 à 2004. Ces données sont fournies par le Bulletin climatologique de la station de climatologie de Yangambi à 5 Km.

Tableau 1: Température moyenne mensuelle de l'année 2000 à 2004 de la région Yangambi

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne annuelle
2000	24,4	25,4	26,4	25,4	25,5	24,4	24,2	24,6	24,6	24,6	24,2	24,6	24,9
2001	24,8	25,8	25,6	25,6	25,6	24,7	24,7	24,8	24,7	24,7	24,7	25,3	25,1
2002	24,9	26,3	26,0	25,8	25,9	25,2	25,1	24,7	25,7	24,4	24,8	24,1	25,1
2003	24,2	25,9	26,0	24,7	24,4	25,2	24,9	25,6	25,6	24,4	24,8	25,0	25,0
2004	25,7	25,7	26,9	25,8	25,5	24,8	24,7	24,8	24,8	24,9	24,6	24,9	25,3
Moyenne mensuelle	24,8	25,8	26,4	25,5	25,4	24,9	24,7	24,9	24,9	25,6	24,6	24,9	25,1

Tableau 2: Précipitation mensuelle de l'année 2000 à 2004 de la région Yangambi (en mm)

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Somme annuelle
2000	49	48	52	121	146	147	68	187	117	237	77	134	1383
2001	53	106	136	148	186	60	49	253	174	237	268	87	1757
2002	36	22	80	279	127	93	120	172	178	215	203	188	1713
2003	113	49	188	260	153	132	163	206	192	223	236	120	2245
2004	57	69	116	145	153	54	97	143	210	173	187	123	1527
Moyenne mensuelle	60,8	57,6	114,4	190,6	152	97,2	80	192,2	174,2	217	194,2	130,4	1725

Source : Station climatologique de Yangambi (2006).

1.2.5. SOL

1.2.5.1. Les séries et complexes de sols de Yangambi centre

A Yangambi centre, d'après KOMBELE 2004, on a identifié quatre séries principales de sols : Yangambi (Y1), Yakonde (Y2), Isalowé (Y3) et le complexe Bohondé-Boto (AT) alluvions des tributaires.

Leur répartition spatiale suit les trois grandes unités géomorphologiques de la région : le plateau, le versant et le bas fond. La série Yangambi (Y1) occupe les plateaux, la série Yakondé (Y2) les hauts versants, la série ISALOWE (Y3) les versants et le complexe Bohondé-Boto, (AT) les bas fonds des vallées.

1.2.5.2. Catena texturale de Yangambi centre

La position topographique des séries de sols suivant les trois unités géomorphologiques (plateau ; versant et bas fond) dans la région a été désignée « Catena de Yangambi » par De LEENHER et al (1952) et modifiée en Catena texturale de Yangambi par Van WAMBEKE (1995)

Les sols de la série Yangambi (Y1) sont des sols de plateau développés sur des sédiments éoliens non remaniés et fortement altérés, de texture argilo sablonneuse (30 à 40% d'éléments fins, ocre rouge. Voir page 41.

Les sols de la série Yankonde (Y2) sont des sols de haut de versant, développés sur des sédiments éoliens fort altérés et remaniés par colluvionnement, de texture sablo argileuse (20-30% d'éléments fins), ocre jaune (7,5YR6/4) ; ces sols présentent en général une structure pulvérulente en surface, finement granuleuse en suite, franchement granuleuse en profondeur.

Les sols de la série Isalowe (Y3) s'étendent depuis les hauts de versants jusqu'au fond des vallées. Ils se sont développés sur des sédiments éoliens fort altérés, nettement sablonneux (moins de 20% d'éléments fins) et ocre jaune (7,5Y5/5-10Y7/4).

Décrit par DE LEENHER, DHOORE et SYS (1952) et VAN WAMBEKE (1954) les sols de Yangambi dérivent des sables éoliens datés du pliocène inférieur. On y trouve des ferrasols de plateaux qui sont des sables grossiers possédant une teneur assez élevée en élément fins.

Selon KELLOG (1949) dans KOMBELE 2004, le sol de Yangambi a des caractères suivants :

- Un rapport silice sesquioxyde bas, une quantité des minéraux primaires ;
- Une capacité d'échange faible, un degré de cohérence assez élevé des agrégats structuraux et une couleur rouge à rougeâtre du sol. SYS et al. (1954) classe le sol de Yangambi en trois séries :
- La série Yangambi qui s'identifie par de lato sols développés dans le dépôt éolien non remanié avec une teneur en argile comprise entre 30 et 40% et une couleur ocre jaune.
- La série Yakonde caractérisée par des sols dérivés des sables éoliens remaniés dont la teneur en argile set comprise entre 20 et 30%.
- La série Isalowe constituée des alluvions récentes, des versants des vallées ; les sols ont une teneur en argile inférieure à 20%.

Lors de la levée de la carte de Yangambi, VAN WAMBEKE et EVRARD (1954) considéraient deux critères pour distinguer les séries des sols ; il s'agit des matériaux parentaux et de la classe du drainage. Chaque unité reconnue en fonction de ces deux critères constituant une série pouvant et subdivisée en types de sol d'après la texture des horizons de surface et puis en phase d'après la profondeur, l'érosion, la pente, etc.

Notre bloc d'inventaire fait partie intégrante de la série Yakonde, caractérisée par la pente du terrain dépassant 3%.

1.2.6. VEGETATION

La végétation ligneuse naturelle d'après Lebrun et Gilbert (1954), dans la région de Yangambi appartient généralement aux forêts semi-caducifoliées qui constituent les noyaux de forêts denses. Deux groupes principaux se dégagent de principaux types de végétation de Yangambi.

Il s'agit de :

- Type de végétation non modifiée
- Type de végétation modifiée ou anthropisée

a) Végétation modifiée

Van WAMBEKE et al (1956) classent sous ces types de végétations :

Les recrues forestiers, les parasoleraie, les forêts secondaires et les groupements artificiels. Le jardin de case, les friches herbeuses, les savanes et les forêts naturelles ont été ajoutés par KOMBELE (2004).

- Les recrues forestiers constituent le premier stade de la recolonisation forestière. Ils sont caractérisés par une physionomie de taillis très touffu dominé par *vernonia* avec un sous bois très dense constitué de Zingibéracées et Marantacée diverse.
- La parasoleraie est un stade de recolonisation qui se met en place après celui de recrues forestiers sur un bon sol forestier. Elle est caractérisée par deux états observables ; la supérieure dominé par *Musanga cecropioides* R.Br, l'inférieure le sous bois formés d'espèces sciaphiles adaptées au niveau du milieu et pionnière de forêt secondaire.
- Les forêts secondaires et remaniées sont considérés comme l'ultime stade de recolonisation forestière après le stade de parasoleraie. On y observe une dominance des essences à croissance rapide et à bois léger comme *Ricinodendron heudelotti*, *Petersianthus macrocarpus*, *Albizia adrontifolwa* (Schulul) W.F WINGT etc.
- Les groupements artificiels sont essentiellement constitués de bambous utilisés pour la fixation des falaises et Yangambi et favorise leur reboisement.

Aujourd'hui les bambous se sont développés même au-delà des falaises dans les recrues forestiers, les forêts secondaires et remaniées, devenant de ce fait une véritable contrainte à l'abattage et à restauration d'une bonne structure du sol en place pour les cultures vivrières.

- Les friches herbeuses ; entourent les champs de travailleurs de Yangambi. Elles sont dominées par les graminées plus précisément *Setaria sp.* *Cynodon dactylon*. Elles sont artificiellement que le jardin de case.
 - Les forêts semi caducifoliés ; Elles sont caractérisées par une physionomie encombrée et lianeuse à proximités des rivières, plus lourdes avec un sous bois fort éclairée sur le plateau. Leur composition floristique est très variable, dominée principalement par *Scorodophloeus zenkeri* Harms ; *Cynometra hankei* Harms (Van WAMBEKE et al, (1956).
 - Les forêts ombrophiles Sempervirentes à *Gilbertiodendron dewevrei* (De WILD). Elles colonisent les tentes sableuses des abords de rivières ou les substrats loin d'une bonne économie en eau.
-

- Les forêts climatiques ; ce sont des associations à dominance exclusive, de *Brachystegia laurentii* (LEBRUN et GILBERT, 1954).

En plus de ces végétations non modifiées de terre ferme plateau et leurs versants ; il existe de végétation non modifiées des vallées et de bas fonds (VAN WAMBEKE, 1957).

Au point de vue phytogéographique, Yangambi fait du secteur central de la région guinéenne. Le territoire étudié se rattache géographiquement et climatiquement au district du Bassin central du Congo, domaine des forêts ombrophiles équatoriales.

Par suite de la position au bord du District du Bassin du Congo et de l'influence des facteurs édaphiques et anthropiques, il comprend un pourcentage élevé du type, Forestiers subéquatoriaux. Ceux-ci appartient aux groupes des forêts semi caducifoliées subéquatoriales et guinéenne en association oxystigmoscordophloein.

Floristiquement, ces peuplements se caractérisent par une proportion non négligeable dans les strates supérieures d'essences caducifoliées (GILSON et WAMBEKE, 1956).

La végétation de Yangambi est dominée par les facies suivants (GILSON & VAN WAMBEKE 1956, VAN WAMBEKE et al, 1956) :

- Forêts ombrophiles sempervirentes de *Gilbertiodendron dewevrei* qui a comme essences compagnes *Diogoa zenkeri*, *Eulophia sanderissiana*, *Isolona bruneelii* ; (LOKOMBE, D., 2004).
- Forêt climatique à *Brachystegia laurentii*, dont la strate arborescente est dominée par le *Brachystegia laurentii*, accompagnée par *Cola sp*, *Garcinia sp*, *Diospyros sp* et *Isolona bruneelii*.
- Forêt secondaire, dominée à l'âge adulte par *Scorodophloeus zenkeri* ; *Pycnanthus angolensis*, *Faraga macrophylla*, *Canarium schweinfurthii*.

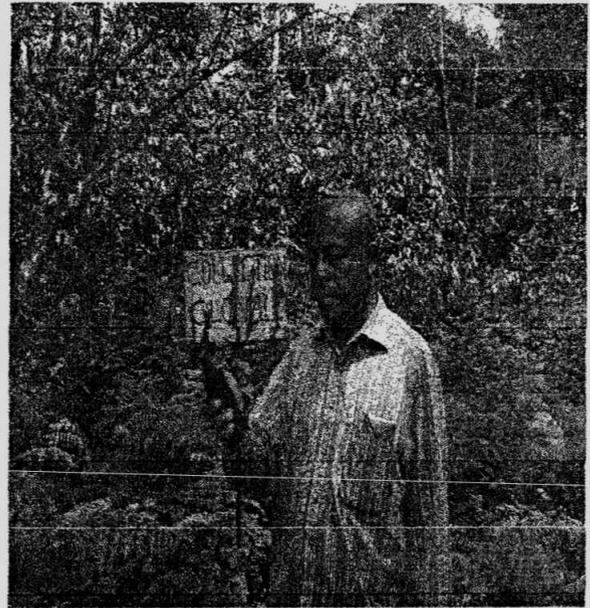
On rencontre dans les vallées du fleuve et de ses tributaires des prairies aquatiques à *Echinochlea stagmina*, *E. pyramidalis* et *Vossia dispidata*, ainsi qu'une végétation arbustive périodiquement inondée nettement mono spécifique à *Calchoretum cordifolia*.

On y signale également des forêts insulaires, avec prédominance de *Bredelia ripicola*, *Ficus mucoso* et *Pseudospondias microcarpa*.

Les autres espèces sont *Entandophragma polustre*, *Macaranga saccifera*, *Allea stipulosa*. (Lokombe 1975 ; KOMBELE, 2004).



Vue de la végétation dans la bananeraie
(Source UTSHUDI)



Vue de la végétation dans la jachère et plantation
d'hévéas (source UTSHUDI)



Vue de la végétation dans la forêt secondaire
(source UTSHUDI)



Vue de la végétation dans la forêt
primaire (Source UTSHUDI)

I.2.7. Influence des activités humaines.

Actuellement Yangambi compterait environ 33000 habitants. Cette population pourrait doubler dans les deux prochaines décennies comme le taux de croissance annuel est de l'ordre de 3,2 %.

L'examen de la pyramide des âges renseigne que Yangambi compte plus de jeunes que d'adultes (ANONYME, 2006 dans SOLIA, 2007).

En effet, 58,9 % de la population a une tranche d'âge de moins de 20 ans et 37,6% possèdent un âge compris entre 20 et 59 ans.

Le taux d'analphabétisme de la population âgée de plus de 15 ans est estimé à 37,7 %. Cette estimation est inquiétante du fait que la contribution de cette tranche d'âge de la population se trouve réduite (ANONYME, 2006).

Le sex-ratio indique que 51 % de la population est constituée des femmes contre 49 % d'hommes (ANONYME, Op.ci)

Tableau 3 donne la répartition de la population de Yangambi tel que recensée en 2006.

Type d'individu	Nombre d'habitants	%
Femme	168 509,212	50,98
Home	162 830,708	49,02
Total	331 339,920	100

Tableau 3 : la répartition de la population de Yangambi tel que recensée en 2006.

En général Yangambi compte principalement trois tribus, à savoir : Les Turumbu, les Lokele et les Topoke. Il y a une minorité d'autres tribus, qui y habitent. Les populations de Yangambi ont comme activités principales : l'agriculture itinérante sur brûlis, l'élevage, la chasse et la cueillette. Cette population vit essentiellement du manioc, riz, maïs, vigna et des cultures pérennes telles que le palmier à huile.

I.2.8. Travaux antérieurs

Les travaux sur la dimension fractale qui est une nouvelle technique en écologie du paysage sont encore peu nombreux. Néanmoins nous avons lu deux travaux, les mémoires de DEA (2007) de Jean-Pierre DJIBU KABULU sur « L'EVALUATION DE L'ETAT DE LA FRAGMENTATION DES FORETS AU KATANGA EN RDC/CONGO » et celui de BAMBA (2006) sur « L'ETUDE DE LA STRUCTURE SPATIALE DE LA DYNAMIQUE SPATIO- TEMPORELLE D'UN PAYSAGE DANS L'EX BAS-CONGO » et l'article sur la variation sur la constance du facteur de graduation K.

Chapitre Deuxième : MATERIELS ET METHODES

II. 1. MATERIELS

Pour atteindre nos objectifs fixés au départ, nous nous sommes servis de deux sortes de matériels :

- Appareil GPS de type Garmin,
- Appareil photo numérique
- Carte de végétation et sol

II.1.1. GPS et photo numérique

Nous avons utilisé cet appareil pour le prélèvement des coordonnées géographiques de la zone d'étude.

II.1.2. Données cartographiques

Sur base des collaborations multiples et d'acquis scientifiques récents dans le domaine de la télédétection spatiale, l'unité de recherche en environnémentrie et géomantique 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 combinant les techniques les plus récentes d'observation de la terre par satellite et la reconnaissance 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 géo référencé fournie par l'unité de recherche en environnémentrie et géomantique 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.

II.2. METHODES

II.2.1. Délimitation de la zone d'étude.

A partir de 443 coordonnées de la réserve forestière, nous avons délimité notre zone d'étude. Elle est comprise entre les coordonnées 24° et 25° de longitude Est et entre 0° et 1° latitude Nord.

II.2.2. Production de la carte de l'occupation du sol.

Grâce aux fonctions de l'extension « *Image analysis* » du logiciel Arcview 3.3, on a 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/.

Cette carte a été par la suite vectorisée suivant la classification de la carte originale de l'Université Catholique Louvain. La classification de taches a été générée par le logiciel Arcview 3.3, afin d'obtenir les différents polygones à partir desquels plusieurs paramètres peuvent être calculés (Dimension fractale, indices de configuration et paramètres statistiques) avec Excel.

Dans ce cas précis, nous nous occuperons uniquement de la dimension fractale. Dans la classification on a 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 8 classes d'occupation du sol suivantes :

- forêts denses
 - vieilles forêts secondaires
 - jeunes forêts secondaires
 - forêts édaphiques
 - mosaïque forêt-savane
 - prairies aquatiques
 - complexe rural
 - agriculture
-

Tableau 4 : 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 en Environnement et Géomatique, Université Catholique de Louvain
Classes	<p>0. Eau</p> <p>1. Prairie aquatique</p> <p>2. Prairie marécageuse</p> <p>3. Forêts denses sur sols hydromorphes</p> <p>4. Forêts denses humides semi-décidue</p> <p>5. Forêts secondaires vieille</p> <p>6. Forêts secondaires jeunes</p> <p>7. Complexe agricole en zone forestière</p> <p>8. Agriculture permanente</p> <p>9. Mosaïque forêt-savane</p> <p>10. Forêt Claire du type Miombo humide</p> <p>11. Savane boisée</p> <p>12. Savane arborée</p> <p>13. Savane arbustive</p> <p>14. Savane herbuse</p> <p>15. Mosaïque savane-agriculture</p> <p>16. Forêt de transition</p> <p>17. Forêt de montagne</p>
Langue	Français et Anglais

II.3. ANALYSE DE LA STRUCTURE SPATIALE.

On distingue les paysages par les relations spatiales entre leurs éléments. La composition et la configuration d'un paysage caractérisent la structure spatiale. Ces caractéristiques déterminent indépendamment ou en combinaison les processus écologiques à l'échelle du paysage (LORGULESCU et SCHLAEPFER, 2002).

Dans notre étude, les éléments de composition retenus sont les classes. Ainsi nous étudions ce paysage à 3 niveaux : le paysage, la classe et la tâche. La composition spatiale se réfère aux caractéristiques concernant la présence et l'abondance d'unités ou des types d'unités dans le paysage. Elle est très importante pour beaucoup d'organismes ou processus écologiques. Par exemple, des nombreuses espèces ont besoin d'un habitat spécifique ou encore d'une taille minimale pour leur fonction vitale (BOGAERT, 2007).

Tandis que la configuration se réfère à la distribution et à l'arrangement des unités dans l'espace (LORGULESCU et SCHLAEPFER, 2002).

II.3.1. Indices de configuration spatiale.

Les indices de configuration spatiale caractérisent l'aire de la tâche i pour la classe j (a_{ij}), le périmètre de la tâche i pour la classe j , (p_{ij}) l'indice de forme IF qui caractérise la classe j , ainsi que la dimension fractale. Ces mesures de configuration spatiale concernant l'aire, le périmètre et la forme sont calculés au niveau des classes.

II.3.1.1. Niveau des tâches

Chaque classe du paysage est composée des tâches dont l'étude correspond au niveau le plus fin de l'analyse paysagère (BUREL et BAUDRY, 2003). Le nombre plus élevé des tâches et leurs tailles sont encore beaucoup plus fines et rendent difficile l'étude de chaque tâche indépendamment. Ainsi nous avons opté pour le niveau intégrateur de classes dans le paysage.

II.3.1.2. Niveau des classes.

Chaque classe dans notre étude est un ensemble de tâches d'un même identifiant composant un paysage. Le niveau « classes » représente l'ensemble d'une thématique qui compose le paysage. Ce niveau est celui sur lequel nous allons travailler parce qu'il nous permet d'appréhender la répartition spatiale relative aux différents types d'occupation du sol. Pour caractériser l'état de chaque classe, un certain nombre d'indices de structure spatiale peuvent être calculés. Dans le cas précis, nous nous sommes concentrés surtout sur la dimension fractale afin de déterminer la complexité de chaque classe.

II.3.1.3. Indice en rapport avec l'aire des classes.

L'aire des classes est un indicateur de la fragmentation de paysage. Lorsqu'elle est grande, la fragmentation est faible ; mais par contre si elle est petite, la fragmentation est importante. Ainsi, la mesure de l'aire présente donc un aperçu global sur l'évolution de l'occupation du sol. L'aire totale d'une classe est exprimée en km^2 et est obtenue par la formule suivante :

$$a_g = \sum_{i=1}^{af} a_y \quad (1)$$

Avec a_y est l'aire de la i -ème tâche de la classe j .

Aussi a_{\max} est l'aire de la plus grande tâche et a_{\min} l'aire de la plus petite tâche.

L'étendue de l'aire de tâches de la classe $e_j(a)$ est obtenue par la formule ci-dessous

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

L'étendue est un paramètre de dispersion d'une distribution. Elle varie entre 0 et 100 et indique la variabilité entre les aires extrêmes de la classe j . Plus l'étendue est proche de 100, plus elle est grande, plus les tailles ne sont pas homogènes entre les tâches. Les tailles entre les tâches sont homogènes quand l'étendue est faible.

La dominance $D(a)$ est la proportion d'aire occupée par la plus grande tâche de la classe dans l'aire totale a_y . Elle se calcule par la formule :

$$D_j(a) = \frac{a_{\max.j}}{a_y}$$

La fragmentation est faible si la dominance est élevée, et elle est intense si la dominance est faible. Elle varie de $0 \leq D(a) \leq 1$, sans unité mais peut également s'exprimer en pourcentage.

II.3.1.4. Indices en rapport avec le périmètre des classes.

Les métriques concernant la frontière sont également des mesures de la configuration du paysage. En écologie du paysage, une grande partie de l'importance accordée à la structure du paysage est liée à l'effet des frontières ou lisières (LORGULESCU et SCHLAEPFER, 2002 dans DJIBU, 2007).

Ainsi, le périmètre total P_y d'une classe dans un paysage donné pourrait être l'information la plus importante pour l'étude de la fragmentation et un bon indicateur d'hétérogénéité spatiale. Plus le contour est grand, plus le paysage est hétérogène.

La somme totale des contours de chacune des tâches de la classe représente le périmètre total P_y (km) de la classe j , il s'obtient par la formule :

$$P_y = \sum_{i=1}^{n_j} P_{y_i} \quad (3)$$

Où P_{y_i} est le périmètre de tâche i de la classe j , les valeurs extrêmes de la classe sont représentées par $P_{\max j}$ et $P_{\min j}$; $\forall i P_{y_i} \leq P_{\max j}$ $\forall i P_{y_i} \geq P_{\min j}$

L'étendue est calculée par la formule :

$$e_j(p) = \frac{P_{\max j} - P_{\min j}}{P_{\max j}} \times 100 \quad (4)$$

II.3.1.5. Les indices en rapport avec les formes de classes.

L'indice de forme IF, est un rapport de l'aire de la classe j sur le carré du périmètre P_y . Si l'indice de forme IF est élevé, l'aire est grande relativement au périmètre, la forme est alors circulaire. Par ailleurs, la forme est allongée si l'indice de forme IF est petit

Il faut souligner que la relation entre taille et forme des éléments influence un certain nombre de processus écologiques, entre autre l'intensité des flux biotique et abiotique à travers la frontière. La forme est surtout importante pour comprendre l'effet des lisières (LORGULESCU et SCHLAEPFER, 2002).

L'indice de forme permet de mesurer la capacité des formes de deux objets à deux dimensions afin d'évaluer l'effet des perturbations externes sur un habitat naturel (BOGAERT, 2007). Car deux tâches de même taille par exemple peuvent avoir les formes différentes. Par conséquent la superficie de chaque habitat devient une variable déterminante pour la présence ou l'abondance de certaines espèces. L'indice de forme est aussi utile pour comprendre le comportement des telles espèces dans un paysage.

L'indice de forme est sans unités et s'obtient par la formule :

$$IF_j = \frac{a_y}{P_y^2} \quad (5)$$

Où a_y est l'aire totale d'une classe et P_y le périmètre total d'une classe j .

Ainsi les valeurs extrêmes de classe j sont représentés par les valeurs maximales IF_{max} ; et minimales IF_{min} ; $\forall i IF_y \leq IF_{max}$ et $\forall i : IF_y \geq IF_{min}$. IF est la forme i -ièmes taches de la classe j .

La forme moyenne \overline{IF} de la classe j est obtenue par la formule

$$\overline{IF} = \frac{IF_j}{n_j} \quad (6)$$

Où n_j est le nombre de tâches de la classe j .

L'étendue de la forme $e_j(IF)$ informe sur la variabilité des formes des tâches de la classe j et elle s'obtient par la formule :

$$e_j(IF) = \frac{IF_{max j} - IF_{min j}}{IF_{max j}} \times 100 \quad (7)$$

II.3.1.6. Le taux de fragmentation de la classe j

Le taux de fragmentation de la classe a pour formule :

$$F_j = \frac{n_j - 1}{m_j - 1} \quad (8)$$

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

$$m_j = \frac{a_j}{a_{\min j}} \quad (9)$$

Où m_j est le rapport de l'aire totale a_j de la classe j en fonction de l'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.

II.3.1.7. La dimension fractale.

Dans le cadre de notre étude, nous avons mis en évidence la dimension fractale qui utilise essentiellement le principe du rapport du logarithme des périmètres en fonction du logarithme de l'aire de chaque classe et du paysage.

La dimension fractale est donnée par la formule suivante :

$$P_y = K A_y^{D/2} \text{ ou } P_y = K \sqrt{A_y}^D \quad (10)$$

$$\ln P_y = \ln K + \frac{Df_y}{2} \ln A_y \quad (11)$$

Légende :

P_y = Périmètre total de la classe y .

K = Constante

$D = Df$ = la dimension fractale de la classe j

A_y = aire totale de la classe j .

Nous constatons, d'après l'équation aux logarithmes, que la pente de la régression linéaire entre aires et périmètres correspondants est une estimation de la moitié de la dimension fractale.

La dimension fractale est l'une des techniques de l'écologie du paysage dont nous nous sommes servies dans le cadre de notre étude en vue de caractériser la complexité de la forme de chaque classe et du paysage. Comme elle ne peut pas être directement calculée à partir de l'équation suivante :

$$\ln P = \ln K + \frac{D}{2} \ln A,$$

puisque Df et K sont inconnus pour une classe isolée du paysage, nous avons jugé bon d'utiliser la méthode de la droite de régression linéaire. Ainsi, les valeurs de pentes des droites de régression

représentent les moitiés de valeurs des dimensions fractales des classes respectives. Donc, la valeur de la dimension fractale est le double de la valeur de la pente. (KENKEL 1996)

Elle est calculée à partir des estimations de périmètre et d'aire, en partant de la relation

$$P_y = K a_y^{\frac{D_f}{2}} \quad (12)$$

Après logarithmisation cette formule devient :

$$\ln P_y = \ln K + (D_{f/2}) \cdot \ln a_y \quad (13)$$

Où P_y est le périmètre total de la classe j ; a_y la superficie totale de la classe j , K est une constante et D_f la dimension fractale.

II.3.1.7.1. La variation de la constante K en fonction des changements des unités de mesures.

L'équation de la dimension fractale est donnée par :

$$P = K \cdot \sqrt{A^D} \quad (10)$$

Résolution

En utilisant une transformation logarithmique, on a :

$$\ln(P) = \frac{D}{2} \ln(A) + \ln(K) \quad (13)$$

$$\ln(P') = \frac{D}{2} \ln(A') + \ln(K') \quad (14)$$

En substituant P' par λP et A' par $\lambda^2 A$ on a :

$$\ln(\lambda P) = \frac{D}{2} \ln(\lambda^2 A) + \ln(K')$$

$$\ln(\lambda) + \ln(P) = 2 \frac{D}{2} \ln \lambda + \frac{D}{2} \ln(A) + \ln(K')$$

En remplaçant $\ln(P)$ par sa valeur $(\frac{D}{2} \ln(A) + \ln(K))$

Il vient :

$$\ln \lambda + \frac{D}{2} \ln A + \ln K = D \ln \lambda + \frac{D}{2} \ln A + \ln K'$$

En simplifiant, il vient :

$$\begin{aligned} \ln \lambda + \ln K &= D \ln \lambda + \ln K' \\ \text{Ce qui entraîne} \quad \ln K' &= \ln(\lambda) - D \ln(\lambda) + \ln(K) \\ \ln(K') &= (1 - D) \ln(\lambda) + \ln(K) \end{aligned}$$

Soit :

$$\boxed{K' = K \cdot \lambda^{(1-D)}} \quad (15)$$

L'équation $K' = K \cdot \lambda^{(1-D)}$ montre que le facteur de graduation K n'est pas vraiment constant et qu'il dépend de λ et de D , alors $K = K'$:

1. Si $\lambda = 1$ car $K' = K \cdot 1^{(1-D)} = K$ puisque $1^{(1-D)} = 1$ quelque soit la valeur de D .
2. Si $D = 1$ car $K' = K \cdot \lambda^0$ or $\lambda^{(1-1)} = \lambda^0 = 1$ donc $K' = K$

Mais si $1 < D \leq 2$ et $\lambda > 1$ on a $K' = K \cdot \lambda^{(1-D)}$ ce qui entraîne $K' = K \cdot \lambda^{-0.3} = K \frac{1}{\lambda^{0.3}}$

Ce qui entraîne $\lambda^{0.3} \cdot K' = K$ donc $\boxed{K' < K}$

Si $1 < D \leq 2$ et $\lambda < 1$ on a $\lambda^{(1-D)} > 1$ donc $K' > K$ car $\lambda^{(1-D)} > 1$ voir figure 17.

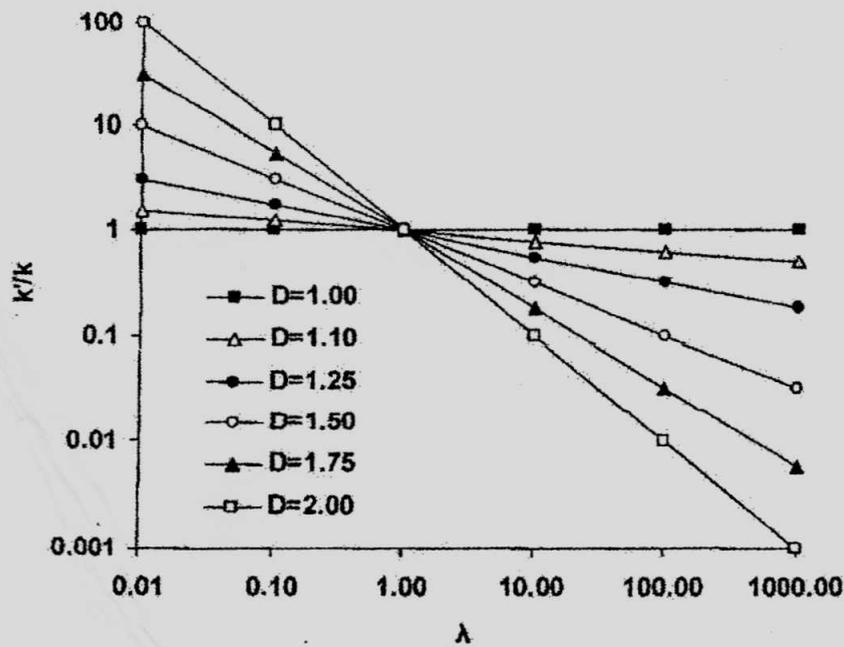
Les formes complexes sont caractérisées par $D \approx 2$ et $\lambda K' = K$ (IMRE, A 2004)

Dans les cas pareils, on observe le changement majeure entre K et K' pour les valeurs considérées de λ .

Ce qui montre que l'impact de λ sur le préfacteur est plus pour les classes des formes complexes $D \approx 2$ que pour les formes régulières où $D \approx 1$.

Ainsi, pour les paysages fortement modifiés ou aménagés par l'homme sont caractérisées par des dimensions fractales faibles (KRUMMEL et al 1987) ; O'NEILL 1988, le choix de l'unité de mesure aura un impact plus négligeable que pour les paysages naturels caractérisés par l'irrégularité et la grande complexité des formes indiquées par des dimensions fractales élevées. (IMRE, A 2006)

La figure 17 montre l'impact de l'unité de mesure λ et de la dimension fractale D sur les rapports entre le facteur de graduation K' observé pour $\lambda \neq 1$ et son homologue k associé avec $\lambda = 1$.



L'équation (15) démontre que le facteur de graduation ou de forme k n'est pas une vraie constante et qu'il change en fonction D et λ . L'égalité entre k et k' s'observe lorsque $\lambda = 1$. Ceci correspond au point d'intersection des lignes. Tandis que la ligne $D=1$ correspond à la ligne horizontale.

CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS

III.1.1. Données Cartographiques.

La carte de Yangambi a été générée par traitement numérique de données cartographiques de cette occupation du sol de R.D.C dont les résultats sont représentés dans la figure 7

Nous constatons que les forêts denses, les vieilles forêts secondaires, les jeunes forêts secondaires et forêts édaphiques constituent la matrice sur la carte, alors que le complexe rural et l'agriculture sont observés sous forme des tâches éparpillées, pendant que la mosaïque forêt -savane et prairies aquatique ne forment qu'une tâche vers le Nord.

La structure observée sur la carte est caractérisée par 4 grandes tâches dont la taille varie entre 1110,23 et 4723,95 km², ce qui dénote la faible fragmentation de la zone d'étude.

La figure 7 présente l'occupation du sol de la zone d'étude

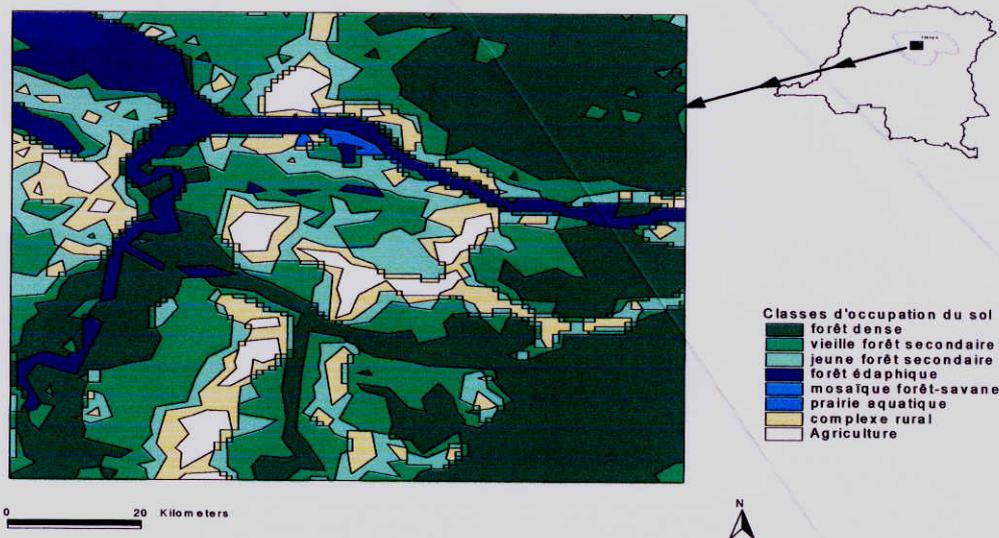


Figure 7 : carte de l'occupation du sol de la région de Yangambi

III.1.2. Analyse de la Structure Spatiale

On distingue les paysages par les relations spatiales entre leurs éléments. La structure du paysage est caractérisée par sa composition et sa configuration.

La configuration se réfère à la distribution et à l'arrangement des unités dans l'espace.

Nous avons donné de l'importance à la cartographie des unités, à la télédétection et aux systèmes information géographique comme méthodes appropriées dans la description de la structure du paysage à Yangambi.

III.1.2.1 Niveau des classes

III.1.2.1.1. Nombre des Tâches

Les résultats de calcul de nombres de tâches par classe sont regroupés dans le tableau 5.

Tableau 5 : En rapport avec le nombre de tâches

	Forêt dense	Vieille forêt secondaire	Jeune forêt secondaire	Forêt Edaphique	Mosaïque forêt savane	Prairie aquatique	Complexe rural	agricul ture
N_j	74	119	135	8	4	5	82	16

Le tableau 5 présente le nombre de tâches de chaque classe

Où n_j est le nombre de tâches

Deux groupes se dégagent : le premier groupe est formé de 4 classes de petit nombre de tâches variant entre 4 et 16 et un deuxième groupe, est constitué de forêt dense, de vieille forêt secondaire, de jeune forêt secondaire, de complexe rural dont le nombre de tâches est de 12 fois supérieur à celui du 1^{er} groupe.

Le plus grand nombre de tâches soit 135 s'observe pour les jeunes forêts secondaires et le plus petit nombre pour mosaïque forêt savane.

III.1.2.1.2. Indices en rapport avec l'aire des classes

Tableau 6: Indices en rapport avec les valeurs extrêmes des aires, de l'étendue, de la dominance et du taux de fragmentation des classes.

	Forêt Dense	Vieille forêt secondaire	Jeunes forêt secondaire	Forêt édaphique	Mosaïque forêt savane	Prairie Aquatique	Complexe Rural	Agriculture
A_{max} [Km ²]	2389,38	490,42	194,96	927,90	5,83	29,77	155,97	112,32
A_{min} [Km ²]	1,000	0,64039	0,64039	4,0785	0,64039	1,000	0,64039	0,6401
E_j (%)	99,9	99,9	98,68	99,56	89,002	96,64	99,6	94,43
D_j (%)	50,6	15,7	11,1	83,6	68,83	88,2	13,7	21,4
F_j	0,015	0,024	0,048	0,025	0,23	0,075	0,045	0,018

Le tableau 6 récapitule les valeurs extrêmes des aires, de l'étendue, de la dominance et du taux de fragmentation des classes.

Nous calculons pour chaque classe : les valeurs extrêmes de tâches, l'étendue des tâches maximales, la dominance ainsi que le taux de fragmentation. Nous avons regroupé les résultats obtenus dans les tableaux....

On remarque une grande variabilité entre les tailles de tâches extrêmes pour les deux groupes de classes observées : dans le premier groupe la tâche la plus grande dépasse 2389 Km². Elle est observée dans la forêt dense, et dans le deuxième groupe est inférieure à 6 Km².

La valeur maximale de l'aire de la forêt dense domine à plus de 26 % l'aire totale de la classe. Les valeurs de cet indice varient de 5,83 à 2389,38 Km² ; l'aire maximale a_{max} des classes est donc variable. Les tâches des classes ne sont pas homologues car les valeurs de l'étendue varient entre 89 et 99,9 %, les quelles valeurs sont proches de 100, ce qui explique la variabilité des classes.

La fragmentation n'y est pas encore maximale. Ceci est justifié par le taux de fragmentation F_j qui est faible pour l'ensemble des classes. Cela peut s'expliquer par la dominance des tâches de grande taille présentes dans chacune des classes

III.1.2.1.3 Indices en rapport avec le Périmètre

Tableau 7 : Indice se rapportant aux valeurs extrêmes de périmètre, de l'étendue, de la dominance et du périmètre moyen des classes

	Forêt dense	Vieille Forêt secondaire	Jeunes forêt secondaire	Forêt édaphique	Mosaïque Forêt savane	Prairie aquatique	Complexe rural	Agriculture
P_{max} [Km]	723,67	227,62	138,76	475,9	10,43	32,23	125,6	86,7
P_{min} [Km]	4,000	3,749	3,749	9,19	3,749	4,000	3,749	3,749
e (%)	99,5	98,35	97,3	98,1	64,5	87,6	97,01	95,7
D (%)	45,95	9,44	6,42	71,45	42,02	66,8	8,79	21,31
\overline{P}_j	21,3	20,3	16,1	83,3	5,5	9,6	17,4	25,4

Le tableau 7 présente les valeurs extrêmes de périmètre, de l'étendue, de la dominance et du périmètre moyen des classes

Nous avons récapitulé les valeurs extrêmes de périmètres, l'étendue et la dominance dans le tableau 4. Les valeurs extrêmes de contour de tâches sont variables entre les classes, car elles vont de 10,43 à 723,67 Km. C'est la classe forêt dense qui a le périmètre maximal le plus élevé soit 723,67 Km. Elle domine à plus de 47 % du périmètre total. L'étendue des périmètres est grande dans presque toutes les classes, car elle est supérieure à 95 % pour la forêt dense (99,9 %), vieille forêt secondaire (99,9 %), jeune forêt secondaire (98,7 %), complexe rural (99,6 %) et forêt Edaphique (99,56 %), par contre on observe des valeurs légèrement faibles pour les classes suivantes : agriculture (94,4 %), Prairie aquatique (96,64%) et Mosaïque forêt -savane (64,5 %).

Les périmètres moyens de tâches des classes sont plus faibles pour la mosaïque forêt savane (5,5 Km), et pour la prairie aquatique (9,6 Km).

III.1.2.1.4. Indices en rapport avec la Forme des classes.

Tableau 8 : Valeurs extrêmes des formes, de l'étendue de formes et de la moyenne des formes des classes

	Forêt dense	Vieille Forêt secondaire	Jeunes forêt secondaire	Forêt édaphique	Mosaïque Forêt savane	Prairie aquatique	Complexe rural	Agriculture
IF	0,0019	0,0000538	0,000376	0,0025	0,0172	0,0145	0,0000558	0,00317
IFmax	0,0625	0,0625	0,0640	0,056	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
IFmin	0,00456	0,0076	0,0004	0,004	0,0455	0,0287	0,0095	0,0149
\overline{IF}	0,056	0,000005	0,00003	0,0003	0,0043	0,0029	0,00007	0,0002
e (IF)	0,93	0,88	0,85	0,93	0,27	0,5413	0,85	0,76

Le tableau 8 regroupe les valeurs extrêmes des formes, de l'étendue de formes et de la moyenne des formes des classes.

Pour comprendre le processus d'effet de lisière, la forme est très importante. Les résultats de calculs des valeurs extrêmes des indices de formes des tâches sont regroupés dans le tableau 5

On remarque que toutes les classes sauf la forêt Edaphique (0,056) ont des valeurs maximales des indices de forme IFmax élevées c'est-à-dire d'un cercle.

Les valeurs des indices de forme IF sont dans l'ensemble faibles et ne fournissent pas d'information précises sur les formes globales des classes.

III.1.2.2. Dimension fractale des classes

La dimension fractale D_f ou D , utilise essentiellement le principe du rapport entre périmètre et surface, et a été proposée par Mandelbrot (1977) dans le but de quantifier la forme d'objets complexes (Lorgulescu et Schlaepfer, 2002). Au niveau de classes la dimension fractale s'obtient donc à partir de la régression de $\ln P_y$ en fonction de $\ln a_y$.

Les graphiques $\ln P_y - \ln a_y$ (fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13 ; 14,15 et 16) donnent la pente de la droite de régression qui est égale à $D_f/2$. La valeur de la dimension fractale est donc le double de la valeur de la pente de la droite de régression obtenue. Elle est respectivement de 1,195 pour la forêt dense, de 1,24

pour la vieille forêt secondaire, de 1,289 pour la jeune forêt secondaire, de 1,39 pour la forêt Edaphique, de 0,99 pour mosaïque forêt savane, de 1,229 pour la Prairie aquatique, de 1,266 pour le complexe rural, de 1,08 pour l'Agriculture et de 1,24 pour le paysage.

III.2.2.1. Les figures de droites de régression

La figure 8 représente la droite de régression pour les forêts denses

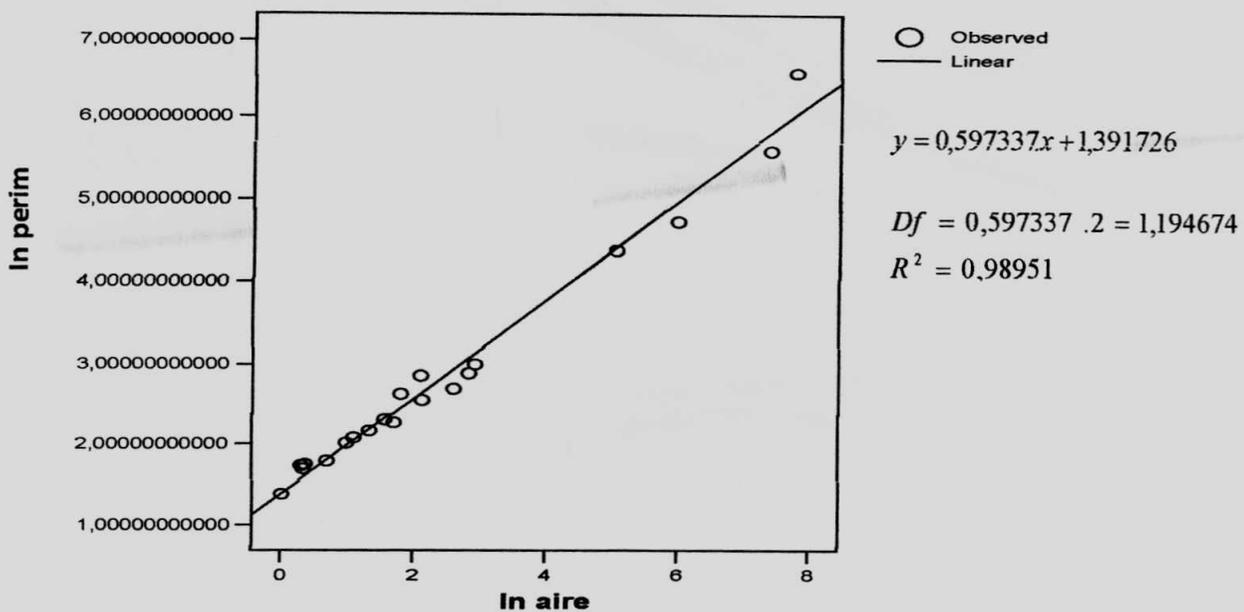


Figure 8 : droite de régression pour les forêts denses

On observe une forte corrélation entre les aires des classes et les périmètres. Leurs périmètres sont autant plus importants que leurs aires sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La valeur de la dimension fractale est le double de la valeur de la pente de cette droite : elle est de 1,194574.

La figure 9 présente la droite de régression pour les vieilles forêts secondaires

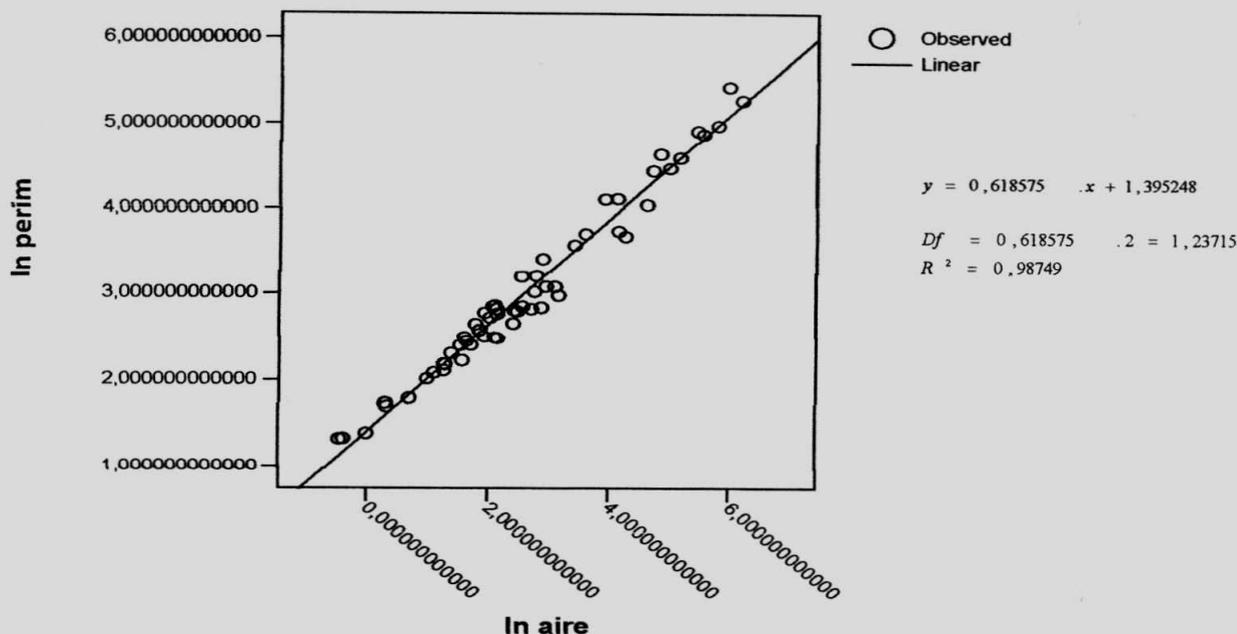


Figure 9 : Droite de régression pour les vieilles forêts secondaire

On note une forte corrélation entre les aires des taches et des périmètres. Leurs périmètres sont d'autant plus importants que leurs surfaces sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La valeur de la dimension fractale vaut 1,23715 soit le double de la valeur de la pente

La figure 10 donne la droite de régression pour les jeunes forêts secondaires

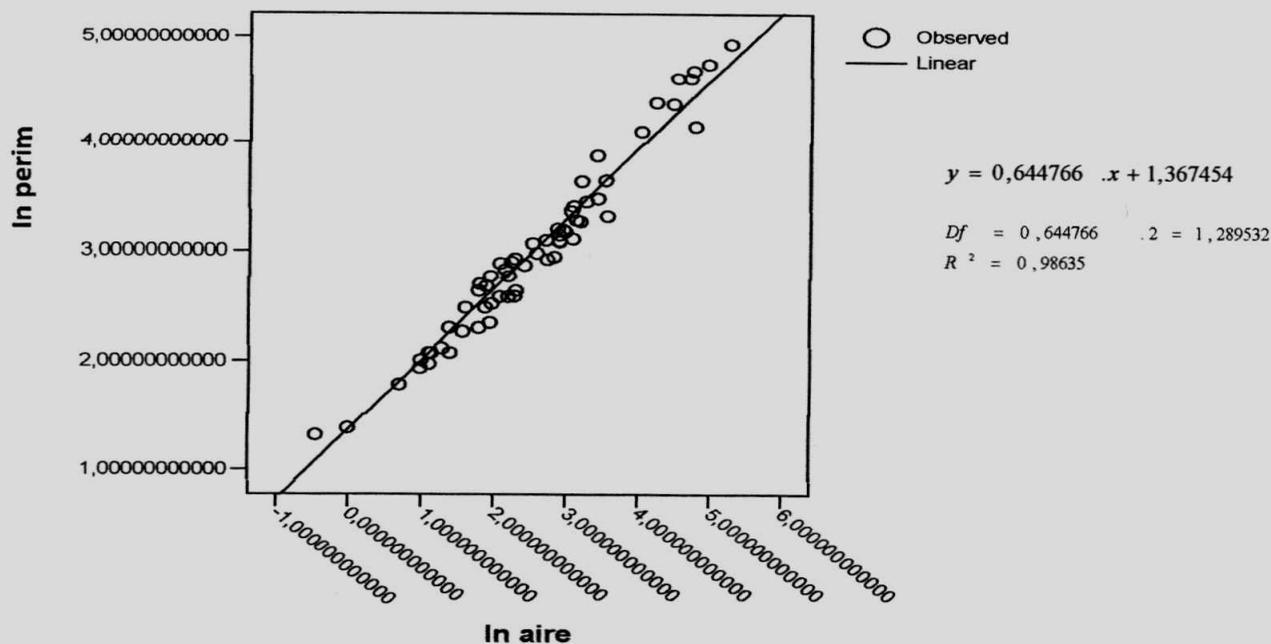


Figure 10 : Droite de régression pour les jeunes forêts secondaires

On remarque une forte corrélation entre les aires des taches et leurs périmètres. Leurs périmètres sont d'autant plus importants que leurs surfaces sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La valeur de la dimension fractale est le double de la valeur de la pente de cette droite. Elle est de 1,289.

La droite de régression pour les forêts édaphiques est présentée à la figure 11.

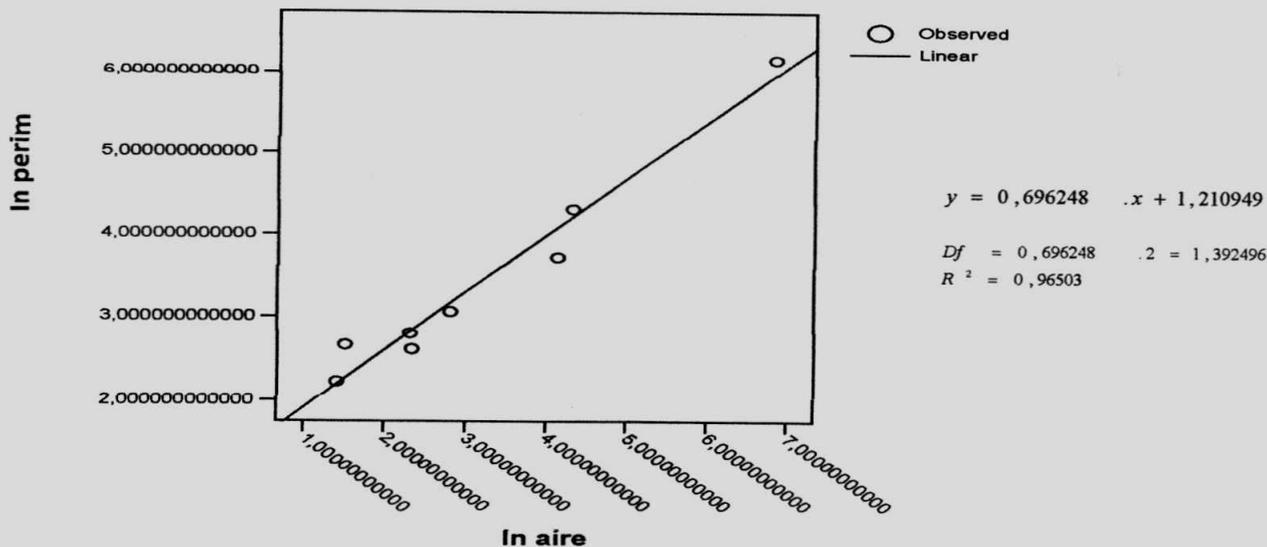


Figure 11 : La droite de régression pour les forêts édaphiques.

Etant donné que la figure comporte très peu des taches nous n'allons pas la commenter.

La droite de régression pour la mosaïque forêt – savane est donnée à la figure 12.

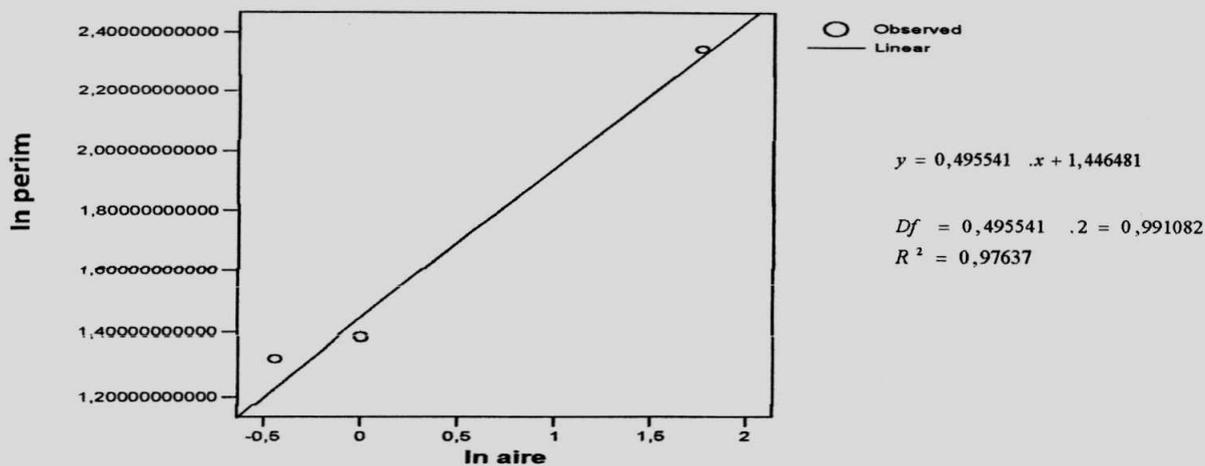


Figure 12 : La droite de régression pour la mosaïque forêt – savane

Le fait que la droite de régression comporte très peu de points nous n'allons pas commenter cette figure.

La figure 13 présente la droite de régression pour les prairies aquatiques

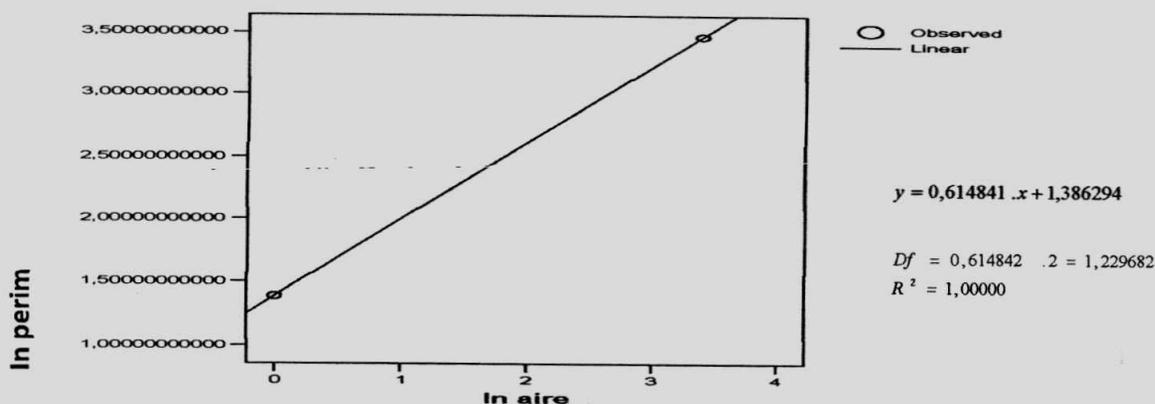


Figure 13 : Droite de régression pour les prairies aquatiques

Etant donné que la figure comporte très peu des taches nous n'allons pas la commenter

La droite de régression pour le complexe rural est donnée à la figure 14

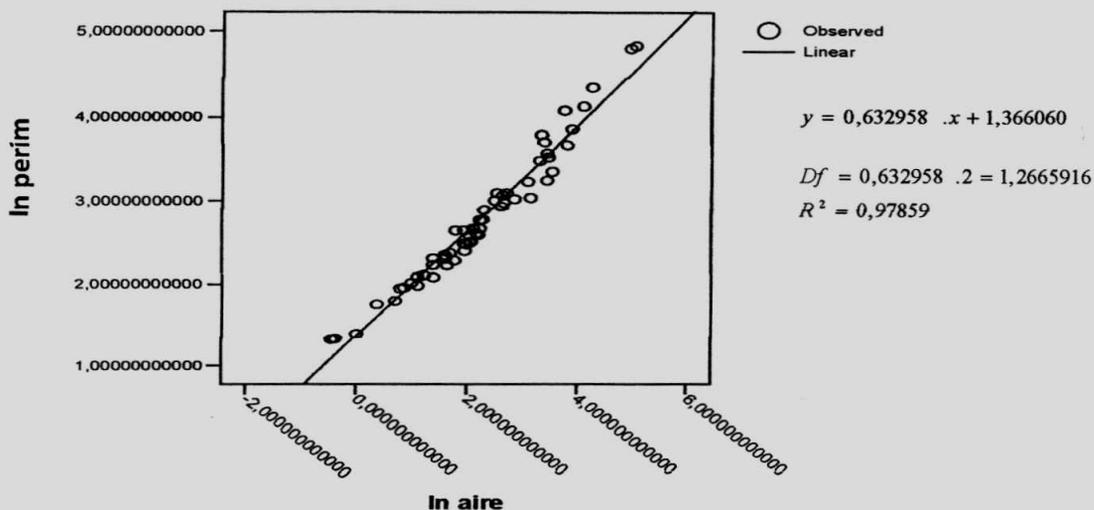


Figure 14 : La droite de régression pour le complexe rural.

On observe une forte corrélation entre les aires des taches et leurs périmètres. Leurs périmètres sont d'autant plus importants que leurs aires sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La valeur de la dimension fractale est le double de la valeur de la pente de cette droite, elle vaut : 1,2665916.

La figure 15 donne la droite de régression pour l'agriculture.

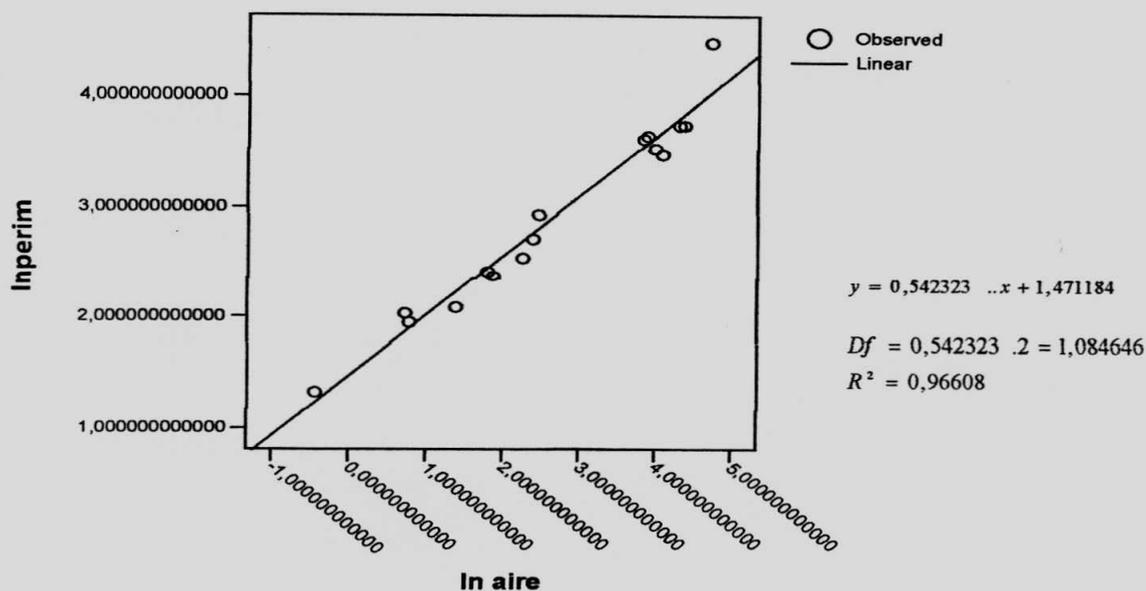


Figure 15 : La droite de régression pour l'agriculture.

On remarque une corrélation peu forte entre les aires et les périmètres. En dépit de cela la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La dimension fractale est le double de la valeur de la pente de cette droite : elle est de 1,084646 pour cette classe.

La droite de régression pour le paysage est donnée à la figure 16.

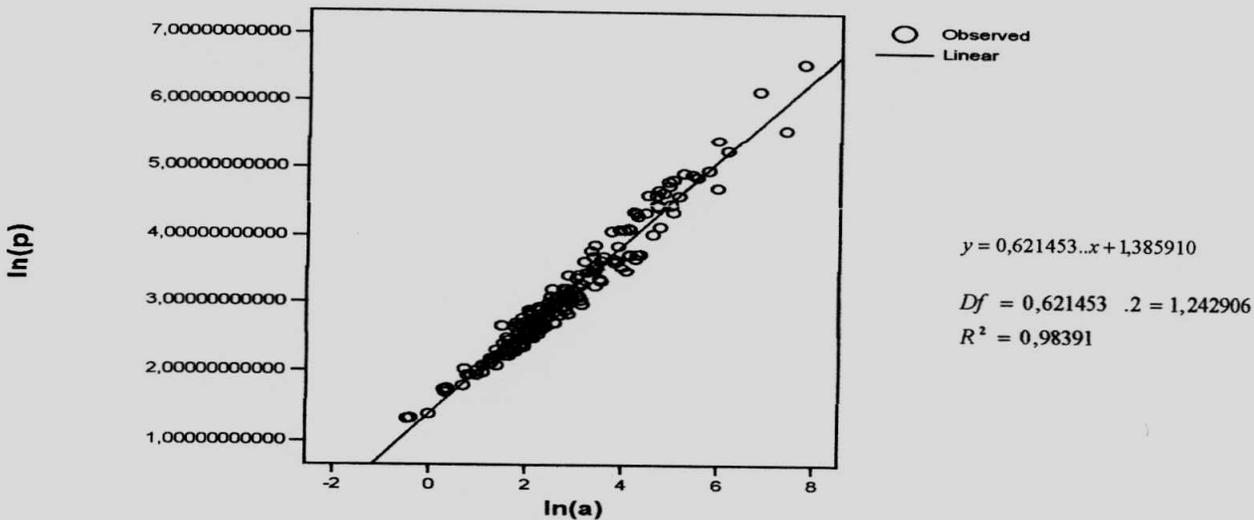


Figure 16 : La droite de régression pour le paysage

On note une très forte corrélation entre les aires des taches et leurs périmètres. Les périmètres sont d'autant plus importants que leurs surfaces sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$ car le nuage des points s'ajuste correctement à une droite. La valeur de la dimension fractale est le double de la valeur de la pente de cette droite. Elle est de 1,242906.

3.1.4. La variation du facteur de graduation utilisé dans la méthode d'estimation de la dimension fractale.

Les valeurs de la pente lorsque le périmètre et l'aire sont exprimés respectivement en Km et Km² sont identiques à celles obtenues lorsque ceux-ci sont exprimés en m et m², mais les valeurs du facteur de graduation changent. Voir le tableau 11

Le tableau n° 9 donne les valeurs de pente, des facteurs de forme et de coefficient de régression lorsque le périmètre et l'aire sont exprimés en km et km².

Le tableau 10 récapitule les valeurs des pentes, des facteurs de graduation et des coefficients de régression lorsque les unités de mesure changent.

Cependant le tableau n° 11 compare les valeurs de facteur de graduation dans le cas où le périmètre et l'aire sont exprimés respectivement en Km et Km² et en m et m². Nous observons que les valeurs de pente dans ce tableau 11 sont identiques dans les deux cas, tandis que les valeurs de facteur de forme K changent quand les unités de mesure changent.

Le tableau 9 présente les valeurs des pentes et préfacteurs des classes et du paysage (unités km et km²).

Tableau 9 : Les valeurs des pentes et préfacteurs des classes et du paysage (unités km et km²)

Nom de la classe	Valeur de la pente	Valeur du facteur de forme k.	Valeur du coefficient de régression
Forêt dense	0,597	1,392	0,98981
Vieille forêt secondaire	0,6185	1,3952	0,98749
Jeune forêt secondaire	0,644766	1,367454	0,98635
Forêt édaphique	0,696248	1,210949	0,96503
Mosaïque forêt savane	0,495	1,446481	0,97637
Prairie aquatique	0,6148	1,386	1,000
Complexe rural	0,6329	1,366060	0,9785
Agriculture	0,542323	1,471184	0,96608
Paysage	0,621453	1,385910	0,98391

Le tableau 10 donne les valeurs des pentes, de facteur de forme des classes et de coefficient de régression (Unités m et m²)

Tableau 10 : Les valeurs des pentes, de facteur de forme des classes et de coefficient de régression (unité m et m²)

Nom de la classe		Pente (m et m ²)	Valeur du facteur de forme	Valeur du coefficient de régression
Forêt dense	1	0,597	0,047	0,990
Vieille forêt secondaire	2	0,619	-0,243	0,987
Jeune forêt secondaire	3	0,645	-0,633	0,986
Forêt édaphique	4	0,696	-1,500	0,965
Mosaïque forêt savane	5	0,496	1,508	0,976
Prairie aquatique	7	0,615	-2,00	1,000
Complexe rural	6	0,633	-0,471	0,979
Agriculture	8	0,542	0,886	0,966
Paysage	9	0,621453	-0,292	0,984

Le tableau 11 compare les valeurs des pentes et des préfacteurs avec variation d'unités.

Tableau 11 : Comparaison des valeurs des pentes et des préfacteurs avec variation d'unités

Nom de la classe	Pente (km et km ²)	Pente (m et m ²)	Valeur du facteur de forme (km et km ²)	Valeur du facteur de forme (m et m ²)
Forêt dense	0,597337	0,597	1,391726	0,047
Vieille forêt secondaire	0,618575	0,618575	1,395248	-0,243
Jeune forêt secondaire	0,644766	0,645	1,367454	-,633
Forêt édaphique	0,696248	0,696	1,210949	-1,500
Mosaïque forêt savane	0,495541	0,496	1,446481	1,508
Prairie aquatique	0,615	0,615	1,386	-0,200
Complexe rural	0,632958	0,633	1,366060	-0,471
Agriculture	0,542323	0,542	1,471184	0,886
Paysage	0,621453	0,62145	1,385910	-0,292

Le tableau n° 11 montre que les valeurs des pentes sont identiques même si on fait varier les unités de mesure. Ces sont seulement les valeurs du facteur de graduation qui changent lorsqu'on change les unités de mesure. Cela est confirmé également par l'équation $k' = k\lambda^{(1-D)}$ qui indique que le facteur de graduation n'est pas vraiment constante et qu'il change en fonction de la dimension fractale (D) et des unités de mesure (λ).

III.2. DISCUSSION

III.2.1. Méthodologie

Notre secteur d'étude est la région de Yangambi vaste de 69.000 Km², située à 100 Km à l'Ouest de la ville de Kisangani chef-lieu de la Province Orientale. Celle-ci a une superficie de 503.239 Km².

Yangambi connaît une déforestation durant ces dernières décennies, suite à la forte pression démographique après cessation des activités à l'INERA : l'exploitation intempestive de bois pour besoins de combustible et de construction ainsi que la culture sur brûlis.

A ces manifestations régionales de la dégradation des terres et forêts s'ajoutent également celles inhérentes à tous les petits centres urbains.

Et cela a souvent comme conséquence l'accroissement des écarts de température et la violence des vents, réduction de la pluviométrie ; augmentation de ruissellement ; érosion, risque des crues, la diminution des infiltrations et la baisse de niveau des nappes phréatiques ; la destruction de la réserve d'eau contenue dans la biomasse forestière et réduction de l'évapotranspiration. Ces différents problèmes résultant principalement d'une polarisation inappropriée de l'occupation du sol par les activités humaines qui en découlent ont motivé cette étude

A partir des coordonnées de la RB de Yangambi, nous avons délimité notre secteur d'étude. Elle est comprise entre les coordonnées 24° et 25° longitude Est et entre 0° et 1° latitude Nord. Grâce aux fonctions de l'extension « *image analysis* » du logiciel ArcView 3.3, il a été fait un clip de cette zone sur la carte de l'occupation du sol produite par l'Université catholique de Louvain.

Pour l'explication détaillée des classes, voir site : www.enge.ucl.ac.be/cartes-rdc/.

Cette carte a été vectorisée suivant la classification de la carte originale de l'Université Catholique Louvain. La classification des tâches a été générée par le logiciel Arc View 3.3, afin d'obtenir les différents polygones à partir desquels plusieurs paramètres ont été calculés (indices et paramètres statistiques) avec excel. Dans la classification on a tenu compte de la carte générale dans les classes d'occupation du sol correspondant à une version simplifiée dérivée d'une série temporelle d'images satellitaires spot végétation.

Ainsi la zone est couverte par 8 classes d'occupation du sol. Avec le développement de photographie aérienne et des images satellites à très hautes résolutions, le paysage peut être perçu dans toute sa globalité et sa variété, dans toutes ses dimensions spatiales, verticales et horizontales.

Nous avons utilisé deux méthodes suivantes : le système d'informations géographiques (SIG) et d'analyse spatiale plus précisément la dimension fractale afin de proposer la complexité de la structure spatiale et l'état de fragmentation de forêt de Yangambi. La dimension fractale étant essentiellement le principe du rapport de logarithme des périmètres en fonctions de logarithme des aires. Nous représentons les droites de régression dont les pentes sont les moitiés de valeurs de dimension fractale.

L'écologie du paysage offre un grand nombre d'indices permettant de décrire la composition mais aussi la structure de ce paysage (Me GARIGAL, 2000). Ces indices opèrent au niveau de l'ensemble du paysage comme au niveau de ses unités spatiales élémentaires. Parmi ceux-ci deux catégories se sont avérées appropriées pour décrire objectivement de l'état de fragmentation des forêts de Yangambi. Il s'agit des indices de composition (cohérence, indice de diversité de Shannon et l'indice d'équitabilité) et des indices de configuration spatiale (le nombre de tâches, l'aire de tâches et la forme des classes).

Dans notre cas nous avons utilisés uniquement la dimension fractale pour quantifier la complexité de la structure spatiale et l'état de fragmentation des forêts de Yangambi.

En observant le nombre de tâches, on constate que les classes comme, mosaïque forêt- savane, forêt Edaphique, Prairie aquatique et Agriculture ont de petits nombres des tâches (4, 5,8 et 16). La variabilité des aires et périmètres extrêmes entraînent aussi la variabilité des aires et périmètres entre les classes d'où l'hétérogénéité des classes. Les valeurs d'étendue des aires et périmètres extrêmes confirment cette variabilité entre les classes.

La dominance semble mieux fournir les informations sur la variabilité des classes que l'étendue. Les indices de forme ayant des valeurs très faibles, ne fournissent pas d'informations précises sur les formes des classes. Mais par contre, les valeurs extrêmes de forme apportent des informations utiles. Le fait que leurs valeurs sont proches les unes des autres (0,067) et proches de (0,08) indique que ces classes sont proches de la forme isodiamétrique, c'est-à-dire d'un cercle.

Nous remarquons aussi que les valeurs de dimensions fractales semblent être proches les unes les autres. Sauf pour le cas de mosaïque forêt – savane dont la dimension fractale est de 0,99. Les valeurs de dimension fractale se situent entre 1,08 et 1,39. Ceci implique que les classes forêt dense, vieille forêt secondaire, jeune forêt secondaire, forêt édaphique, complexe rural, prairie aquatique et l'agriculture ont des formes complexes mais leurs anthropisation n'est pas maximale. Alors que pour la mosaïque forêt- savane il y a anthropisation mais sa forme est plus ou moins régulière.

Dans cette étude nous avons montré que le préfacteur K n'est pas une vraie valeur constante, et qu'il varie en fonction de l'unité de mesure utilisée (λ) et de D . Les formes irrégulières illustrées par une grande valeur de dimension fractale sont caractérisées par une plus forte variation de K que les formes régulières.

Pour la classe dont la dimension fractale est égale l'unité, aucune influence d'unité de mesure de mesure ne sera observée

Nous devons éviter de tirer des conclusions hâtives sans avoir au paravent approfondir notre étude par l'utilisation des tous les indices de composition, de configuration, de l'arbre de décision de BOGAERT et al (2000), ainsi que la dimension fractale.

L'état de fragmentation des forêts de la région de Yangambi doit être précisé en menant une étude diachronique entre deux périodes différentes en utilisant les calculs de tous les indices, de l'arbre de décision ainsi que la dimension fractale. Néanmoins, la dimension fractale nous a permis de déterminer la complexité de la structure spatiale et l'état de fragmentation.

III.2.2. Comparaison des valeurs de dimension fractale.

Nous avons comparé les résultats du présent travail à ceux de DJIBU et de BAMBA dont les résultats sont regroupés dans le tableau 9 ci-dessous

Le tableau 12 compare nos valeurs de dimension fractale avec celles de DJIBU et BAMBA au Katanga et au Bas Congo.

Tableau 12 : Comparaison des valeurs de dimension fractale du présent travail avec celles de DJIBU et BAMBA au Katanga et Bas-Congo.

:PRO	FCM	FCSA	FCS	MFS	FD	S	JC	FS	VFS	JFS	FE	PA	CR	AG	P	SOURCE
P.O.			0,99	1,2				1,24	1,29	1,39	1,23	1,27	1,09	1,24		Présent travail
PK	1,18	1,17	1,09	1,12	1,13											DJIBU
PBC					1,4	1,39	1,49	1,58								BAMBA

Tableau 12 indique l'état de fragmentation des forêts au Katanga, au Bas – Congo et à la Province Orientale.

Légende :

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| PRO : Province | FD : Forêt dense |
| PO : Province Orientale | S : Savane |
| PK : Province du Katanga | JC : Jachère et champs |
| PBC : Province du Bas-Congo | FS : Forêt secondaire |
| SOU : Source | VFS : Vieille forêt secondaire |
| FCM : Forêt claire de type Miombo | JFS : Jeune forêt secondaire |
| FCSA : Forêt claire savane | FE : Forêt Edaphique |
| FCS : Forêt claire secondaire | PA : Prairie Aquatique |
| MFS : Mosaïque forêt savane | CR : Complexe rural |
| AG : Agriculture | P : Paysage |

Nous observons que les forêts du Bas-Congo sont plus complexes que celles du Katanga et de la Province Orientale car ses valeurs de dimension fractale (entre 1,39 et 1,58) sont les plus élevées. Mais peu anthropisées que les deux autres.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le principal objectif de cette étude est de pouvoir caractériser et quantifier la complexité de la structure spatiale et l'état de fragmentation des forêts de Yangambi en utilisant les indices de la structure spatiale et la dimension fractale. La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'application des techniques et méthodes de l'écologie du paysage sur des cartes multi sources en vue de caractériser et quantifier la dynamique de l'occupation du sol dans la zone de Yangambi.

Nous avons utilisé une carte d'occupation du sol au format TIFF géo référencée fournie par l'unité de recherche en environnométrie et géomantique de l'Université Catholique de Louvain produite en 2007. La classification a été simplifiée en 8 classes : Forêt dense, vieille forêt secondaire, jeune forêt secondaire, forêt édaphique, mosaïque forêt- savane, prairie aquatique, complexe rural, agriculture.

L'analyse spatiale nous a permis de faire le calcul d'indice de configuration spatiale à partir des tâches et classes générées. Aussi sommes-nous servi de la dimension fractale qui est l'une des techniques en écologie en vue de quantifier la complexité de la structure spatiale et l'état de fragmentation des forêts de Yangambi.

En observant les résultats obtenus nous nous sommes rendu compte que les forêts de Yangambi subissent graduellement une pression anthropique assez forte. Ce qui expliquerait la plupart de formes complexes et isodiamétriques. Cependant, on y rencontre encore trois classes dont les tâches de plus grandes tailles dominant et dépassent plus 72 % d'aire totale. Il s'agit de la forêt dense, de la vieille forêt secondaire et de la forêt édaphique.

La fragmentation n'est pas encore très inquiétante à cause de la présence de grandes tâches. Mais il est nécessaire de tirer cette conclusion.

L'utilisation de plusieurs sources d'information, des cartes, des images satellitaires, des photographies aériennes et la reconnaissance des terrains ont permis d'approfondir le problème et aboutir aux présents résultats.

Le classes forêt denses, vieilles forêt secondaire, jeune forêt secondaire, forêt édaphique et agriculture ont des formes complexes, mais peu anthropisées, car leur valeur de dimension fractale varie entre 1,08 et 1,39. Tandis que les mosaïques forêt-savane a une forme simple ou régulière, mais anthropisée. Car la valeur de sa dimension fractale est égale à 0,99 inférieure à 1. Le paysage est donc complexe et peu anthropisé parce que la valeur de sa dimension fractale est égale 1,24.

Les valeurs de facteur de graduation dans le cas de changement d'unités m et m² au lieu de km et km² sont différentes, tout en gardant les valeurs correspondantes des pentes identiques. En d'autre terme, les choix arbitraire des unités de longueur et de surface n'a aucune influence sur la valeur de la pente donc sur la dimension fractale. Tandis que les valeurs de facteur de forme changent avec variation des unités de mesure.

L'évaluation de l'état des fragmentations de la réserve forestière de Yangambi est une tâche complexe, c'est pourquoi, nous prévoyons donc de :

- étendre le site d'étude sur toute l'ancienne concession de l'INERA et même sur toute la province.
 - Mener des études approfondies entre deux périodes différentes en vue de faire une étude diachronique en utilisant si possible des images satellites et des photos aériennes des périodes intermédiaires entre ces dates.
 - Utiliser tous les indices (composition, configuration) qui seront associés à l'arbre de décision de Bogaert et al (2000) afin de donner les types de processus opérés dans les différentes classes constituant le paysage.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson J.E. 1991: A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. *Conservation biology*. Pp 347-355.
- Anonyme, 2006 : Population de Yangambi Bureau de cité de Yangambi, 12p.
- Bamba, I., 2006. Etude de la structure spatiale de la dynamique spatio-temporelle d'un paysage dans l'ex-Bas-Congo (RDC), ULB, Bruxelles, Belgique, 76p.
- Bamba, I., L. Lyongo, A. Imre, Z.Q. Li, R. Rousseau, J. Ulyel, Ali-Patho et J. Bogaert, 2007. La variabilité du facteur de graduation utilisé dans la méthode d'estimation de la dimension fractale des mosaïques paysagères. Article. ULB, Bruxelles, Belgique, 10p.
- Beguïn, H., 1962 : A propos de la population dans la région de Yangambi. Acad. Roy. Des Scies d'O.M., Bull de sce nouvelle, serie 928-943.
- Bogaert J. Mahamane, A., 2005. Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin, Bénin*. 34p.
- Bogaert J. Mahamane, A., sous presse : Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin, Bénin*. 34p.
- Bogaert, 2007. Cour d'écologie du Paysage. Cours DEA RDCongo, UNIKIS.
- Bogaert, J., Rousseau, R; Van Hecke, P; Impenes, I. 2000: Alternative area-perimeter ratios formeasurement of 2-D shape compactness ofhabitats, *Appl. Math. Comput* (11) pp 71-85.
- Burel, F & Baudry, J. 2003: Ecologie du paysage concepts, methods et applications TEC & DOC. 359p.
- Burel, F; Bandry, J., 1999. Ecologie du paysage. Techniques et Documentation, Paris, 12p.
- Cahen, L. 1954. Géologie du Congo-belge... Vaillant – Cormanne, Liège, 70p.
- Danielle Duccot, 2005. Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multisources. Extraction des caractéristiques du paysage. 21p.
- De Henzeilin, J., 1952. Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur Nord Oriental du bassin du Congo. Publ INEAC, Bruxelles, 168p.
- De leenhe, L., D'Hoore, J., et Sys, K, 1952 : cartographie et caractérisation pédologique de la caneta de Yangambi. Publ, INEAC, serie scientifique n° 55, 62p.
- Djibu, K., 2007. Evaluation de l'état de la fragmentation des forêts au Katanga RDCongo. Mémoire DEA, ULB, Bruxelles, Belgique, 50p.
- Dudu Akaibe 2007. Gestion des ressources naturelles. Cours de DEA
-

- Duvigneaud, P. 1952. La flore et végétation u Katanga et des sols metallifères. Bull. Soc. Roy. Bat, Belgique.
- FAO / IUCN, 2003. Les forêts du Bassin du Congo. Rapport interne, Kinshasa, 40p.
- Farina, A., 1998. Principles and methods in landscape ecology. London.uk: Chapman and Hall, 25p.
- Forman, R.T.T., 1995, Land Masaies. The Ecology of Lands capes and Regions, Univesity press, Cambridge. UK
- Forman, R.T.T., et Gordon M. 1986 : Landscape ecology. John Wiley et sons, New York. USA.
- Gilson et Va²n Wamboke, 1946. Notice explicative de la carte de sol et de la végétation de Yangambi, Planchette 2 INEAC.
- Imre, A. 2006: Artificial fractal dimension obtained by using perimeter area relationship on digitalized images, Appl. Nath. Compet, (173) pp 443-449.
- Imre, A. R.: Bogaert, J., 2004: The fractal dimension as a mesure of the quality of habitats, Acta Biotheor (52) pp 41-56.
- INERA ; 2006. Bulletin climatologique Programme national de Gestion et Conservation des ressources naturelles. Section Agroclimatologique / INERA Yangambi. Bulletin Annuel, 16p.
- Kenkel, N.C., : Walker D.J 1996: Fractals in the biological sciences, Coenoses, (11) pp 77-100.
- Kombe B., 2004. Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise : cas des série Yangambi et Yakinde. Thèse de Doctorat Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques de Gemblou, Belgique 30p.
- Krummel, J.R., 1987; Landscape pattern in a disturbed environment, Oikos (48) pp 321-324.
- Lebrun et Gilbert, 1954. Classification écologique des forêts du Congo, Série n° 63 INEAC 3^{ème} Chapelle, Bruxelles, 89p.
- Lejoly, J., 2007. Valorisation et Conservation de la biodiversité végétale. Cours de DEA.
- Lokombe D., 1975. Inventaire forestier sur un bloc de 400 ha dans la réserve floristique de Loweo. Mémoire inédit, IFA-Yangambi, 34p.
- Lokombe, D., 2004 : Caractéristique dendrométrique et stratégie d'aménagement de la forêt dense humide à Gilbertiodendron dewerei la région de Bengamisa. Thèse de Doctorat, IFA/Yangambi, 223p.
- Lorgulescu et Schlaepfer, R. 2002. Fiche d'enseignement 4.1 : Paysage en tant que complexe: Définitions, types, caractéristiques, fonctionnement et fonction. Lausanne (SUISSE), 23p.
- Mc Garigal, K. 2002. Landscape Patterns metrics. Encyclopedia of Environmentries, Volume 2, 25p.
- Mandelbrot, BB 1983 The fractal geometry of nature, freeman and company, New York (USA).
-

- Mikombi, M., 1974 : Contribution à l'étude de quelques paramètres hydriques d'une forêt de Yangambi. Mémoire inédit, IFA/Yangambi, 54p.
- O'Neill, R.V. ; Krummel, J.R. 1988 Indices of landscape pattern, *Landscape Ecol.* (3) pp 153-162
- Navels et Lieberman 1984 : *Landscape ecology, Theory and application*, New York, USA.
- Petit Larousse, 1974.
- Schlaepfer, R. 2002. Fiche d'enseignement 4.1, Laboratoire de Gestion des écosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, Cours 21p.
- Solia, E., 2007 : Contribution à l'application des mesure en carré aux espèces *Scorodophloeus zenkeri*, *Olax gambecola* et *Staudtia gabonensis* dans la cuvette centrale Congolaise. Cas de la forêt à *Scorodophloeus zenkeri* Harms dans la réserve de Loweo à Yangambi, RDC. Fac de sciences Université de Kisangani, 64p.
- Sys, C., 1960 : carte des sols et de la végétation du Congo Belge et du Rwanda Urundi, note explicative de la carte des Sols du Congo Belge et de Rwanda Urundi. Publication INEAC, Bruxelles, 84p.
- Van wambeke, A., 1956 : Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo Belge et de Rwanda Urundi 6, Planchette 2 : Yangambi, A et B, bruxelle, Publ INEAC 31p.
- Van Wambeke, A., 1957 : Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo Belge et de Rwanda Urundi, Publ INEAC 28p.
- Van Wambeke, A., 1995 : Les sols des tropiques : propriété et appréciation. CTA & Huy Trop asbl, 335p.
-

Old secondary forest	3	8
Old secondary forest	6,88098	12,13432
Old secondary forest	3,61984	8,82115
Old secondary forest	71,04182	39,38343
Old secondary forest	0,64039	3,74983
Old secondary forest	5,51067	11,02029
Old secondary forest	3,54118	8,84565
Old secondary forest	11,92446	16,31603
Old secondary forest	12,98172	17,24499
Old secondary forest	1,3654	5,65886
Old secondary forest	1,34985	5,67374
Old secondary forest	11,34033	16,50551
Old secondary forest	19,16016	21,74652
Old secondary forest	4	10
Old secondary forest	5,14107	11,52409
Old secondary forest	4,65625	10,9768
Old secondary forest	4,65625	10,9768
Old secondary forest	15,87282	20,48442
Old secondary forest	6,38687	13,00742
Old secondary forest	6,44079	13,12613
Old secondary forest	63,47458	41,86095
Old secondary forest	5	12
Old secondary forest	5	12
Old secondary forest	8,58811	15,8242
Old secondary forest	7,60616	15,14637
Old secondary forest	102,17875	56,81908
Old secondary forest	6	14
Old secondary forest	8,47708	16,76975
Old secondary forest	7	16
Old secondary forest	8,26007	17,43171
Old secondary forest	8	17,23607
Old secondary forest	16,29806	24,65944
Old secondary forest	30,57369	35,39525
Old secondary forest	36,69586	40,49865
Old secondary forest	12,82372	24,44716
Old secondary forest	17,97366	30,09401
Old secondary forest	149,47106	87,2925
Old secondary forest	176,82201	98,77972
Old secondary forest	62,55323	60,9024
Old secondary forest	113,29279	84,86535
Old secondary forest	328,51906	144,75748
Old secondary forest	258,21191	130,60793
Old secondary forest	50,97803	60,52699
Old secondary forest	490,41972	194,39408
Old secondary forest	233,74461	135,70792
Old secondary forest	127,99176	103,23498
Old secondary forest	394,74951	227,62245
Total	3128,43239	2410,64991

Young secondary forest	1	4
Young secondary forest	1	4
Young secondary forest	1	4
Young secondary forest	1	4
Young secondary forest	6	10
Young secondary forest	3	7,23607
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	2	6
Young secondary forest	9,83162	13,30504
Young secondary forest	2,65625	6,9768
Young secondary forest	3,6001	8,31921
Young secondary forest	4,80469	9,65471
Young secondary forest	9	13,23607
Young secondary forest	10	14
Young secondary forest	3,08766	7,99886
Young secondary forest	2,6869	7,47599
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	3	8
Young secondary forest	7,17188	12,42558
Young secondary forest	16,82007	19,06055
Young secondary forest	35,09842	27,66994
Young secondary forest	8	13,23607
Young secondary forest	0,64039	3,74983
Young secondary forest	6,56707	12,01218
Young secondary forest	15,28918	18,66311
Young secondary forest	21,73608	22,43519
Young secondary forest	4	10
Young secondary forest	18,0583	21,85297
Young secondary forest	18,06087	22,04344
Young secondary forest	11,17969	17,65471
Young secondary forest	9	16
Young secondary forest	24,0532	26,31329
Young secondary forest	5	12
Young secondary forest	5	12

Young secondary forest	19,59618	23,96163
Young secondary forest	13,23776	19,70143
Young secondary forest	18,00001	23,23607
Young secondary forest	22,78361	26,63043
Young secondary forest	19,03873	24,3898
Young secondary forest	6,66797	14,61605
Young secondary forest	6	14
Young secondary forest	6	14
Young secondary forest	15,01166	22,19338
Young secondary forest	8,57896	17,02483
Young secondary forest	118,71044	63,34652
Young secondary forest	30,99069	32,37764
Young secondary forest	17,59725	24,61687
Young secondary forest	9,38297	18,20932
Young secondary forest	9,82113	18,77198
Young secondary forest	6,10626	14,89096
Young secondary forest	7	16
Young secondary forest	12,48784	21,52289
Young secondary forest	26,37082	31,52585
Young secondary forest	21,30645	28,85144
Young secondary forest	8	18
Young secondary forest	22,0912	30,22881
Young secondary forest	34,50084	38,2557
Young secondary forest	24,66422	37,89249
Young secondary forest	56,06256	60,40636
Young secondary forest	87,37514	78,03809
Young secondary forest	30,59093	48,17917
Young secondary forest	110,85721	99,49502
Young secondary forest	68,80585	79,03414
Young secondary forest	142,97397	114,49902
Young secondary forest	194,96042	138,75897
Young secondary forest	116,08655	107,23504
Young secondary forest	92,89151	99,64229
Total	1760,8915	2161,32394

FORET EDAPHIQUE**CLASS_NAME AIRE (km²) PERIMETRE (km)**

Edaphic forest	10,28488	13,58389
Edaphic forest	4,0785	9,19543
Edaphic forest	10,04096	16,42967
Edaphic forest	62,13542	41,21662
Edaphic forest	16,59554	21,30346
Edaphic forest	4,51936	14,31843
Edaphic forest	74,6694	74,09556
Edaphic forest	927,90734	475,91407
Total	1110,2314	666,05713

MOSAIQUE FORET-SAVANE**CLASS_NAME AIRE (km²) PERIM (km)**

Forest-sav mozaic	1	4
Forest-sav mozaic	1	4
Forest-sav mozaic	5,82813	10,42558
Forest-sav mozaic	0,64039	3,74983
Total	8,46852	22,17541

PRAIRIE AQUATIQUE**CLASS_NAME AIRE (km²) PERIMETRE (km)**

Aquatic grassland	29,77207	32,22687
Aquatic grassland	1	4
Total	33,77207	48,22687

COMPLEXE RURAL

CLASS_NAME	AIRE (km ²)	PERIMETRE (km)
Rural complex	4	8
Rural complex	1	4
Rural complex	5,87297	9,76224
Rural complex	5,15807	9,22415
Rural complex	7,06151	10,95533
Rural complex	3	7,23607
Rural complex	2	6
Rural complex	7,76862	12,08326
Rural complex	23,09371	20,8503
Rural complex	7,90881	12,2288
Rural complex	7,33889	11,8201
Rural complex	9	13,23607
Rural complex	3,37195	8,18894
Rural complex	5	10
Rural complex	6,98606	11,95757
Rural complex	0,68466	3,77286
Rural complex	2,6869	7,47599
Rural complex	8,74852	13,5135
Rural complex	5,41714	10,67719
Rural complex	31,06076	25,64475
Rural complex	2,34681	7,0726
Rural complex	4	9,23607
Rural complex	3	8
Rural complex	4,94503	10,40685
Rural complex	0,64039	3,74983

Rural complex	0,64039	3,74983
Rural complex	9,27834	14,28787
Rural complex	7,76454	13,15159
Rural complex	2,19132	6,99003
Rural complex	1,43971	5,76001
Rural complex	34,11905	28,54462
Rural complex	17,27644	20,53083
Rural complex	8,22532	14,33964
Rural complex	4	10
Rural complex	13,67269	18,70855
Rural complex	9,76032	15,96813
Rural complex	9,30791	15,90315
Rural complex	14,17191	19,65119
Rural complex	7	14
Rural complex	22,00001	25,23607
Rural complex	15,00001	22
Rural complex	10	18
Rural complex	6	14
Rural complex	14,01754	21,49224
Rural complex	12,07601	20,15068
Rural complex	44,89969	39,16473
Rural complex	31,86441	33,83916
Rural complex	12,58699	22,0026
Rural complex	27,17189	32,42559
Rural complex	31,08649	35,38422
Rural complex	49,30846	47,42622
Rural complex	29,59783	40,48628
Rural complex	61,14968	61,98593
Rural complex	28,27579	44,18225
Rural complex	42,98864	59,16045
Rural complex	71,72832	77,29352
Rural complex	155,96602	125,65646
Rural complex	142,24659	122,15197
Total	1139,90311	1428,71628

Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Young secondary forest	1,00000	4,00000	0,0625
Forest-sav mozaic	1,00000	4,00000	0,0625
Forest-sav mozaic	1,00000	4,00000	0,0625
Aquatic grassland	1,00000	4,00000	0,0625
Aquatic grassland	1,00000	4,00000	0,0625
Aquatic grassland	1,00000	4,00000	0,0625
Aquatic grassland	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	1,00000	4,00000	0,0625
Rural complex	5,87297	9,76224	0,06162527
Old secondary forest	23,62840	19,61549	0,06140956
Old secondary forest	17,75681	17,05356	0,06105691
Rural complex	5,15807	9,22415	0,06062259
Old secondary forest	8,53102	11,91885	0,06005266
Young secondary forest	6,00000	10,00000	0,06
Agriculture	9,47312	12,58971	0,05976702

Dense moist forest	16,79771	18,02947	0,05167544
Young secondary forest	4,80469	9,65471	0,05154504
Young secondary forest	9,00000	13,23607	0,05137175
Rural complex	9,00000	13,23607	0,05137175
Young secondary forest	10,00000	14,00000	0,05102041
Rural complex	3,37195	8,18894	0,05028353
Rural complex	5,00000	10,00000	0,05
Dense moist forest	3,78976	8,72050	0,04983437
Dense moist forest	8,29086	13,00275	0,04903759
Rural complex	6,98606	11,95757	0,04885921
Agriculture	6,00000	11,12311	0,0484952
Agriculture	10,83413	14,97896	0,04828706
Young secondary forest	3,08766	7,99886	0,04825844
Edaphic forest	4,07850	9,19543	0,04823434
Old secondary forest	0,68466	3,77286	0,04809873
Rural complex	0,68466	3,77286	0,04809873
Old secondary forest	2,68690	7,47599	0,04807442
Old secondary forest	2,68690	7,47599	0,04807442
Young secondary forest	2,68690	7,47599	0,04807442
Rural complex	2,68690	7,47599	0,04807442
Dense moist forest	2,68689	7,47599	0,04807424
Dense moist forest	2,68689	7,47599	0,04807424
Old secondary forest	2,68689	7,47599	0,04807424
Rural complex	8,74852	13,51350	0,04790699
Rural complex	5,41714	10,67719	0,04751778
Dense moist forest	4,77429	10,03976	0,0473655
Dense moist forest	1,39521	5,43314	0,0472648
Old secondary forest	1,39521	5,43314	0,0472648
Old secondary forest	1,39521	5,43314	0,0472648
Old secondary forest	1,39521	5,43314	0,0472648
Old secondary forest	1,39521	5,43314	0,0472648
Old secondary forest	22,26021	21,70490	0,04725129
Rural complex	31,06076	25,64475	0,04722969
Rural complex	2,34681	7,07260	0,04691587
Rural complex	4,00000	9,23607	0,04689058
Dense moist forest	3,00000	8,00000	0,046875
Dense moist forest	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Young secondary forest	3,00000	8,00000	0,046875
Rural complex	3,00000	8,00000	0,046875
Old secondary forest	6,88098	12,13432	0,04673254
Old secondary forest	3,61984	8,82115	0,04651992
Young secondary forest	7,17188	12,42558	0,04645149

Young secondary forest	16,82007	19,06055	0,04629744
Agriculture	53,67026	34,14845	0,04602478
Young secondary forest	35,09842	27,66994	0,0458428
Old secondary forest	71,04182	39,38343	0,04580227
Young secondary forest	8,00000	13,23607	0,04566378
Rural complex	4,94503	10,40685	0,04565941
Dense moist forest	18,40984	20,08047	0,04565646
Old secondary forest	0,64039	3,74983	0,04554297
Young secondary forest	0,64039	3,74983	0,04554297
Forest-sav mozaic	0,64039	3,74983	0,04554297
Rural complex	0,64039	3,74983	0,04554297
Rural complex	0,64039	3,74983	0,04554297
Agriculture	0,64039	3,74983	0,04554297
Young secondary forest	6,56707	12,01218	0,04551222
Rural complex	9,27834	14,28787	0,04545015
Old secondary forest	5,51067	11,02029	0,04537518
Old secondary forest	3,54118	8,84565	0,04525729
Rural complex	7,76454	13,15159	0,04489099
Rural complex	2,19132	6,99003	0,04484848
Agriculture	2,19132	6,99003	0,04484848
Old secondary forest	11,92446	16,31603	0,04479296
Agriculture	78,80124	42,01557	0,0446388
Young secondary forest	15,28918	18,66311	0,04389511
Old secondary forest	12,98172	17,24499	0,04365222
Dense moist forest	1,43972	5,76001	0,04339419
Rural complex	1,43971	5,76001	0,04339389
Young secondary forest	21,73608	22,43519	0,04318389
Dense moist forest	1,36541	5,65887	0,04263867
Old secondary forest	1,36540	5,65886	0,04263851
Dense moist forest	1,34985	5,67374	0,0419321
Old secondary forest	1,34985	5,67374	0,0419321
Rural complex	34,11905	28,54462	0,04187438
Agriculture	73,60749	41,92703	0,04187297
Old secondary forest	11,34033	16,50551	0,0416263
Rural complex	17,27644	20,53083	0,04098654
Old secondary forest	19,16016	21,74652	0,04051535
Rural complex	8,22532	14,33964	0,0400015
Old secondary forest	4,00000	10,00000	0,04
Young secondary forest	4,00000	10,00000	0,04
Rural complex	4,00000	10,00000	0,04
Rural complex	13,67269	18,70855	0,03906373
Old secondary forest	5,14107	11,52409	0,03871152
Old secondary forest	4,65625	10,97680	0,03864424
Old secondary forest	4,65625	10,97680	0,03864424
Rural complex	9,76032	15,96813	0,03827859
Old secondary forest	15,87282	20,48442	0,03782742
Young secondary forest	18,05830	21,85297	0,03781429
Old secondary forest	6,38687	13,00742	0,03774903
Old secondary forest	6,44079	13,12613	0,03738228
Edaphic forest	10,04096	16,42967	0,03719783
Young secondary forest	18,06087	22,04344	0,03716892
Rural complex	9,30791	15,90315	0,03680322
Rural complex	14,17191	19,65119	0,0366987

Edaphic forest	62,13542	41,21662	0,03657586
Edaphic forest	16,59554	21,30346	0,03656715
Old secondary forest	63,47458	41,86095	0,03622277
Young secondary forest	11,17969	17,65471	0,03586812
Agriculture	2,06419	7,58702	0,03585975
Rural complex	7,00000	14,00000	0,03571429
Young secondary forest	9,00000	16,00000	0,03515625
Young secondary forest	24,05320	26,31329	0,03473942
Old secondary forest	5,00000	12,00000	0,03472222
Old secondary forest	5,00000	12,00000	0,03472222
Young secondary forest	5,00000	12,00000	0,03472222
Young secondary forest	5,00000	12,00000	0,03472222
Rural complex	22,00001	25,23607	0,03454454
Old secondary forest	8,58811	15,82420	0,03429684
Young secondary forest	19,59618	23,96163	0,03413019
Young secondary forest	13,23776	19,70143	0,03410507
Agriculture	11,71989	18,67631	0,03360016
Agriculture	46,21870	37,20685	0,03338658
Young secondary forest	18,00001	23,23607	0,0333386
Agriculture	48,65183	38,23780	0,03327464
Old secondary forest	7,60616	15,14637	0,03315495
Young secondary forest	22,78361	26,63043	0,0321267
Young secondary forest	19,03873	24,38980	0,03200527
Dense moist forest	396,66043	111,53666	0,03188479
Old secondary forest	102,17875	56,81908	0,03164989
Young secondary forest	6,66797	14,61605	0,03121286
Rural complex	15,00001	22,00000	0,03099176
Rural complex	10,00000	18,00000	0,0308642
Dense moist forest	6,00000	14,00000	0,03061224
Old secondary forest	6,00000	14,00000	0,03061224
Young secondary forest	6,00000	14,00000	0,03061224
Young secondary forest	6,00000	14,00000	0,03061224
Rural complex	6,00000	14,00000	0,03061224
Young secondary forest	15,01166	22,19338	0,03047767
Rural complex	14,01754	21,49224	0,03034649
Old secondary forest	8,47708	16,76975	0,03014346
Rural complex	12,07601	20,15068	0,02974021
Young secondary forest	8,57896	17,02483	0,02959846
Young secondary forest	118,71044	63,34652	0,02958308
Young secondary forest	30,99069	32,37764	0,02956248
Rural complex	44,89969	39,16473	0,02927205
Young secondary forest	17,59725	24,61687	0,02903883
Aquatic grassland	29,77207	32,22687	0,02866637
Young secondary forest	9,38297	18,20932	0,02829781
Young secondary forest	9,82113	18,77198	0,02787028
Rural complex	31,86441	33,83916	0,02782702
Young secondary forest	6,10626	14,89096	0,02753784
Old secondary forest	7,00000	16,00000	0,02734375
Young secondary forest	7,00000	16,00000	0,02734375
Old secondary forest	8,26007	17,43171	0,0271834
Young secondary forest	12,48784	21,52289	0,02695791
Old secondary forest	8,00000	17,23607	0,02692858
Old secondary forest	16,29806	24,65944	0,02680214

Young secondary forest	26,37082	31,52585	0,02653322
Dense moist forest	8,10660	17,48540	0,02651475
Rural complex	12,58699	22,00260	0,02600003
Rural complex	27,17189	32,42559	0,02584307
Young secondary forest	21,30645	28,85144	0,02559624
Dense moist forest	155,86029	78,90741	0,02503225
Rural complex	31,08649	35,38422	0,02482861
Young secondary forest	8,00000	18,00000	0,02469136
Old secondary forest	30,57369	35,39525	0,02440382
Young secondary forest	22,09120	30,22881	0,0241756
Young secondary forest	34,50084	38,25570	0,02357422
Dense moist forest	1266,14857	267,40215	0,02274209
Old secondary forest	36,69586	40,49865	0,02237361
Edaphic forest	4,51936	14,31843	0,02204378
Rural complex	49,30846	47,42622	0,02192221
Old secondary forest	12,82372	24,44716	0,02145642
Old secondary forest	17,97366	30,09401	0,01984616
Old secondary forest	149,47106	87,29250	0,01961567
Old secondary forest	176,82201	98,77972	0,01812178
Rural complex	29,59783	40,48628	0,01805694
Young secondary forest	24,66422	37,89249	0,01717755
Old secondary forest	62,55323	60,90240	0,01686479
Rural complex	61,14968	61,98593	0,01591505
Old secondary forest	113,29279	84,86535	0,01573046
Old secondary forest	328,51906	144,75748	0,01567756
Young secondary forest	56,06256	60,40636	0,01536412
Old secondary forest	258,21191	130,60793	0,01513691
Agriculture	112,32389	86,73907	0,01492941
Rural complex	28,27579	44,18225	0,01448502
Young secondary forest	87,37514	78,03809	0,01434745
Old secondary forest	50,97803	60,52699	0,01391505
Edaphic forest	74,66940	74,09556	0,01360061
Young secondary forest	30,59093	48,17917	0,01317874
Old secondary forest	490,41972	194,39408	0,01297782
Old secondary forest	233,74461	135,70792	0,01269203
Rural complex	42,98864	59,16045	0,01228261
Old secondary forest	127,99176	103,23498	0,01200959
Rural complex	71,72832	77,29352	0,01200617
Young secondary forest	110,85721	99,49502	0,01119854
Young secondary forest	68,80585	79,03414	0,01101529
Young secondary forest	142,97397	114,49902	0,0109057
Young secondary forest	194,96042	138,75897	0,01012568
Young secondary forest	116,08655	107,23504	0,01009505
Rural complex	155,96602	125,65646	0,0098778
Rural complex	142,24659	122,15197	0,00953325
Young secondary forest	92,89151	99,64229	0,00935597
Old secondary forest	394,74951	227,62245	0,00761888
Dense moist forest	2389,38415	723,67440	0,00456247
Edaphic forest	927,90734	475,91407	0,00409683
Total	12432,00451	8719,13542	