



**Université du Burundi
Faculté des Sciences**

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

ECUE : Biogéographie, Partie Phytogéographie



Pr Joël NDAYISHIMIYE (P.A)

Avril 2026, A.A. 2025-2026

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
0. FICHE SIGNALÉTIQUE DE L'ECUE : BIOGÉOGRAPHIE.....	1
CHAPITRE I. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	2
1.1. DÉFINITIONS	2
1.2. PRÉSENTATION DES CONCEPTS CLÉS	2
1.2.1. BIODIVERSITÉ ET NIVEAUX D'ORGANISATION DU VIVANT	2
1.2.2. LES NIVEAUX DE PERCEPTION, ÉCHELLES SPATIALE ET TEMPORELLE	4
1.3. OBJECTIF DU COURS.....	5
CHAPITRE II. HISTORIQUE DE LA PHYTOGÉOGRAPHIE	6
2.1. INTRODUCTION.....	6
2.2. QUESTIONS PRINCIPALES EN BIOGÉOGRAPHIE vs PHYTOGÉOGRAPHIE ...	8
2.3. CONDITIONS DE PRÉSENCE D'UN ORGANISME	8
CHAPITRE III. LA CHOROLOGIE	9
3.1. DÉFINITION	9
3.2. INTÉRÊT DE LA CHOROLOGIE.....	10
3.3- FACTEURS DE RÉPARTITION DES ORGANISMES	11
3.3.1. FACTEURS DE RÉPARTITION DES ESPÈCES VIVANTES.....	11
3.3.2. TYPES D'AIRES	12
3.3.2.1. AIRE COSMOPOLITE.....	12
3.3.2.2. AIRE ENDEMIQUE	13
3.3.2.3. AIRE CIRCUMTERRESTRE	15
3.3.2.4. AIRE DISJOINTE.....	15
3.3.3. ÉTAT DES CONNAISSANCES DES ESPÈCES ENDEMIQUES AU BURUNDI	16
3.3.4. HYPOTHÈSE DES ZONES DE REFUGES EN AFRIQUE	17
3.3.5. MÉTHODES D'ANALYSE DES AIRES	18
CHAPITRE IV. LES BIOMES TERRESTRES ET LES TERRITOIRES PHYTOGÉOGRAPHIQUES DU MONDE.....	19
4.1. LES BIOMES TERRESTRES DU MONDE.....	19
4.1.1. DÉFINITION	19

4. 1. 2. Répartition des principaux biomes terrestres	21
4.1.3. LES PRINCIPAUX ELEMENTS CARACTERISTIQUES DE CHAQUE BIOME	22
4.1.3.1. Les forêts de conifères des régions boréales ou la taïga.....	22
4.1.3.2. Les forêts décidues des régions tempérées.....	23
4.1.3.3. Les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes	23
4.1.3.4. Les formations herbacées naturelles : prairies et steppes.....	24
4.1.3.5. Les forêts équatoriales sempervirentes ou les forêts ombrophiles tropicales	24
4.1.3.6. Les savanes.....	26
4.1.3.7. Les déserts	27
4.1.3.8. La toundra	28
4.1.3.9. Les biomes azonaux	28
4.2. LES SUBDIVISIONS FLORISTIQUES DU MONDE.....	29
4.2.1. Empires et régions floristique du monde.....	29
4.2.2. ELEMENT ET SPECTRE PHYTOGEOGRAPHIQUE.....	31
4.2.3. Les territoires phytogéographiques de l’Afrique.....	32
4.2.4. Caractéristiques et Subdivisions floristiques de l’Afrique selon White (1983).	35
4.2.4.1. Centre régional d’endémisme Guinéo-congolais	36
4.2.4.2. Centre régional d’endémisme Zambézien	37
4.2.4.3. Centre régional d’endémisme morcelé afro-montagnard incluant la (4.2.9.) qui est la région morcelée afroalpine d’appauvrissement floristique.....	37
4.2.4.4. Zone de transition régionale guinéo-congolaise-Zambézienne.....	37
4.2.4.5. Zone de transition régionale Guinéo-congolaise-Soudanienne.....	37
4.2.4.6. La Mosaïque régionale du Lac Victoria	37
4.2.5. Subdivisions de l’Afrique selon Troupin (1966).....	37
4.2.5.1. Région méditerranéenne.....	39
4.2.5.2. Région Saharo-Sahérienne	39
4.2.5.3. Région Soudano-Zambézienne	40
4.2.5.4. Région guinéo-congolaise	42
4.2.5.5. Région du Cap.	43
4.2.5.6. Région montagnarde africaine	43
4.2.5.7. Région littorale Intertropicale	44
4.2.5.8. Région malgache	44
CHAPITRE V. LE SYSTEME PHYTOGEOGRAPHIQUE DU BURUNDI	45
5.1. LES TRAVAUX DE PHYTOGEOGRAPHIE SUR LE BURUNDI ET LE SYSTEME PHYTOGEOGRAPHIQUE RETENU.....	45
5. 2. VEGETATION DES CINQ DISTRICTS PHYTOGEOGRAPHIQUES DU BURUNDI.....	47
5.2.1. Le District afro-montagnard.....	47
5.2.2. Le District du Graben occidental.....	47
5.2.3. Le District du Rwanda-Burundi	47
5.2.4. Le district du Bugesera.....	48
5.2.5. District du Mosso et de la Malagarazi.....	48
CHAPITRE VI. APPLICATIONS DE LA BIOGEOGRAPHIE	51
6.1. INITIATION A LA BIOGEOGRAPHIE INSULAIRE	51

6.1.1. Introduction.....	51
6.1.2. Le syndrome d'insularité	51
Les peuplements insulaires se distinguent de leurs homologues continentaux par un ensemble de modifications ou syndrome d'insularité.....	51
6.1.2.1. Richesse spécifique	52
6.1.2.2. Amplitude écologique	52
6.1.2.3. Densité.....	52
6.1.2.4. Sédentarité.....	52
6.1.2.5. Nanisme des grands et gigantisme des petits	53
6.1.3. Les Causes du syndrome d'insularité	53
6.1.3.1. Isolement	53
6.1.3.2. Manque d'habitats favorables	54
6.1.3.3. Compétition.....	54
6. 2. LA THEORIE DE L'EQUILIBRE DYNAMIQUE	54
6.2.1. La théorie.....	54
6.2.2. Les limites du modèle de Mac Arthur et Wilson.....	57
6.3. LA THEORIE DE "SINGLE LARGE OR SEVERAL SMALL" (SLOSS) EN CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE :.....	58
6.4. APPLICATIONS DE LA THEORIE DE LA BIOGEOGRAPHIE INSULAIRE A LA GESTION DES PAYSAGES (Shafer, 1990).	60
6.5 LE PHENOMENE DE PERTURBATIONS ECOLOGIQUE ET SES IMPLICATIONS SUR LA BIODIVERSITE	61
6.5.1. Introduction	61
6.5.2. La Théorie de perturbation	61
6.5.3. Notion de successions écologiques	63
6.5.3.1 Les principaux types de succession.....	63
6.5.3.2. Mécanisme de la succession.....	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les niveaux d'Organisation de la Biodiversité.....	10
Figure 2. Dimensions de la Biodiversité.....	12
Figure 3. La distribution du genre « Acacia » en Africa.....	17
Figure 4. Les territoires phytogéographiques de l'Afrique (Lebrun, 1947).....	20
Figure 5 : Répartition des espèces endémiques de la Famille des Orchidaceae du Rift albertin	20
Figure 6: Répartition des principaux centres (hotspots) de biodiversité du globe.	21
Figure 7. Modèle de la Vicariance (Cessa, Online).	22
Figure 8 : Répartition actuelle des refuges forestiers de l'Afrique et la région Guinéo-congolaise.....	24
Figure 9 : Les principaux biomes du Monde	27
Figure 10. Répartition prévue des biomes.....	29
Figure 11. La forêt décidue tempérée.....	30
Figure 12. Répartition des Forêts Equatoriales à l'Echelle Mondiale.	31
Figure 13. Cauliflorie et de développement des espèces à base élargie	32
Figure 14. Exemple d'images correspondant à la forêt ombrophile tropicale.	33
Figure 15. Savanes du Parc National de Tarangire (Tanzanie) où on observe un troupeau de Zèbre.....	34
Figure 16. Savane du Parc National de la Ruvubu où se voit un troupeau de Buffles	34
Figure 17. Exemples de déserts	35
Figure 18. Les six régions floristiques du monde	36
Figure 19. Les régions floristiques du monde selon Takhtajan (1986)	36

Figure 20. Principales phytochories de l’Afrique et de Madagascar (White, 1983 ; 1986).....	43
Figure 21. Divisions phytogéographiques de l’Afrique selon Troupin (1966).....	45
Figure 22. Territoires phytogéographiques du Burundi.	52
Figure 23. Vue partielle de la Forêt claire de Rumonge	55
Figure 24. Diversité des genres de conifères et des plantes à fleurs dans les îles du Pacifique.....	60
Figure 25. Le modèle de Mac Arthur et Wilson	62
Figure 26. Effet de la taille de l’île.....	63
Figure 27. Effet de l’isolement de l’île.....	63
Figure 28. Illustration de l’hypothèse des perturbations intermédiaires.	69
Figure 29. Processus de Succession sur une échelle de Temps	70
Figure 30. Illustration des trois modèles de succession	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Liste de 20 taxons endémiques de certaines régions du Burundi	23
Tableau 2 : Hiérarchisation des Territoires et principales caractéristiques.....	38
Tableau 3. Exemple de calcul du spectre phytogéographique	39
Tableau 4. Comparaison des subdivisions floristiques de l’Afrique selon White (1979) et White (1983).....	42
Tableau 5. Limites altitudinales et informations sur les facteurs climatiques et les pressions anthropiques de chaque district	56

0. FICHE SIGNALÉTIQUE DE L'ECUE : BIOGÉOGRAPHIE

PARTIE PHYTOGÉOGRAPHIE

ENSEIGNANT : Pr NDAYISHIMIYE Joël

N°	ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNITE D'ENSEIGNEMENT (ECUE)	Crédits
UE 1	ÉCOLOGIE II	8
ECUE	<p>BIOGÉOGRAPHIE vs PHYTOGÉOGRAPHIE</p> <p>Prérequis : Systématique végétale, Ecologie générale</p> <p>Objectifs de l'enseignement :</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Décrire les principaux facteurs et processus qui causent la dynamique et la répartition actuelle et passée des organismes vivants,✓ Montrer les aires de répartition des organismes à différentes échelles;✓ Expliquez la notion de biogéographie insulaire et le phénomène de Successions et perturbations écologiques. <p>Méthode d'enseignement : Cours magistral et travaux de terrain</p> <p>Contenu : Présentation des concepts clés (Biodiversité et les niveaux d'Organisation). L'Histoire de la Phytogéographie, questions principales en Biogéographie vs Phytogéographie. La chorologie. Les Facteurs de répartition des Organismes. Les Types d'aires. Les Biomes terrestres et les territoires phytogéographiques du monde. Les territoires phytogéographiques de l'Afrique. Le système phytogéographique du Burundi. La végétation caractéristique des territoires phytogéographiques du Burundi. Les applications de la Biogéographie : Initiation à la biogéographie insulaire, La théorie de l'équilibre dynamique, la théorie du SLOSS en conservation de la biodiversité, les applications de la théorie de la biogéographie insulaire à la gestion des paysages, le phénomène de perturbations écologiques et implications sur la biodiversité.</p> <p>Résultats d'apprentissage</p> <p>A la fin du cours, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Décrire les principaux facteurs et processus qui causent la dynamique et la répartition actuelle et passée des organismes vivants,✓ Reconnaître et montrer les aires de répartition des organismes à différentes échelles;✓ Utiliser la notion de biogéographie insulaire en conservation✓ Décrire le phénomène de Successions et perturbations écologiques. <p>Mode d'évaluation: Examen écrit 60 % ; Travaux de l'année : 40%.</p> <p>Références bibliographiques : à la fin du syllabus</p>	4 (2)

CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE

1.1. DEFINITIONS

La biogéographie se définit comme étant l'étude et la compréhension de la répartition des organismes vivants à la lumière des facteurs et processus présents et passés. Une autre définition la plus simple considère la biogéographie comme l'étude de la répartition géographique des organismes, de leurs habitats (biogéographie écologique) et des facteurs historiques et biologiques qui les ont structurés (biogéographie historique) **Lincoln et al. 1982**).

Les deux principales branches de la Biogéographie sont la Phytogéographie qui concerne l'analyse des causes de la répartition et de l'abondance des plantes et de la Zoogéographie qui s'occupe des animaux. Cette discipline à la croisée des sciences de la Terre et des sciences de la vie consiste en l'étude de la distribution spatiale des organismes. Elle est par ailleurs une science multidisciplinaire car elle utilise plusieurs connaissances issues de la biologie au sens strict, la géographie, la taxonomie, la géologie, la climatologie, l'écologie, la pédologie, paléontologie, ect.....

La Biogéographie recourt souvent à la :

- Biocéologie qui est l'Etude de la composition spécifique, de la structure et de la dynamique des Biocénoses,
- Géonémie : Etude de la répartition géographique des espèces, des populations et des peuplements
- Chorologie : Explication de la répartition par référence aux conditions climatiques, pédologiques, etc... A cela s'ajoute le poids de l'Histoire, des acteurs et de leurs pratiques.

1.2. PRESENTATION DES CONCEPTS CLES

1.2.1. BIODIVERSITE ET NIVEAUX D'ORGANISATION DU VIVANT

La Biodiversité signifie la diversité Biologique c'est-à-dire la variété et variabilité de tous les organismes vivants. Selon **Blondel (1995)**, la biodiversité désigne la quantité et la structure de l'information biologique contenue dans les systèmes vivants hiérarchiquement emboîtés. Bien que cette notion soit simple, elle est cependant complexe car dépend de l'échelle spatiale et temporelle, de la structure et de leur organisation (**Figure 1**).

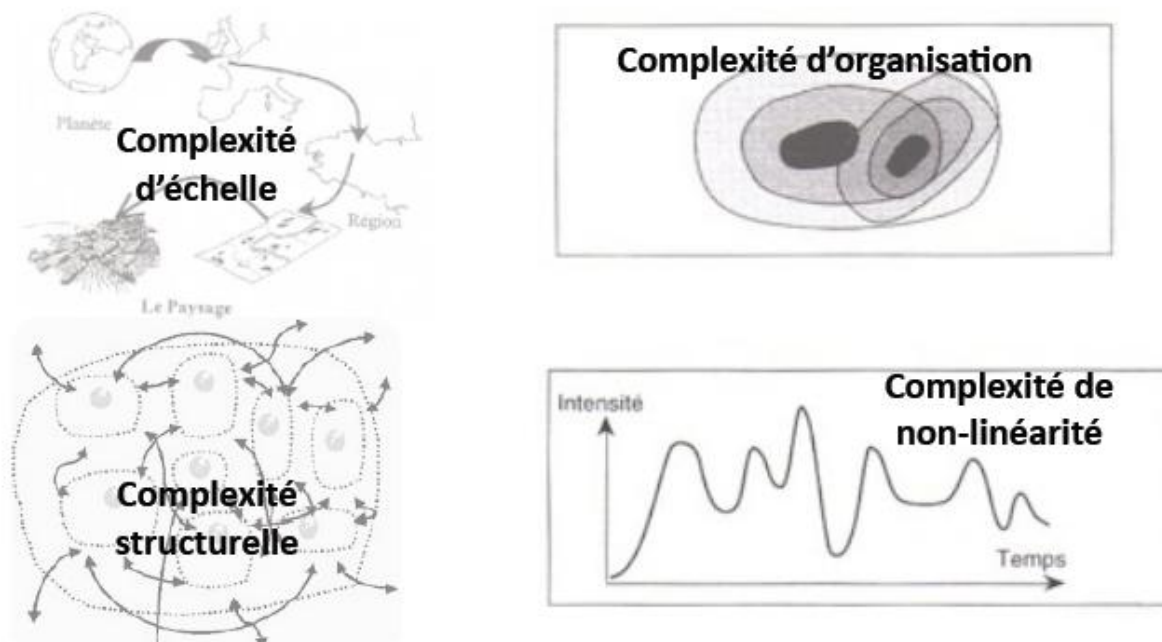


Figure 1. Les niveaux d'Organisation de la Biodiversité

Beaucoup d'ouvrages de référence en écologie et biogéographie traitent principalement de structures liées au seul niveau des "espèces". D'ailleurs, l'acceptation commune de la notion de biodiversité est celle de la diversité des espèces quand elle n'est pas limitée à son expression la plus brute : le nombre d'espèces. Or, s'il s'agit là d'un niveau facile à appréhender, le niveau des "espèces" n'est qu'un seul des niveaux d'organisations généralement utilisés par les écologistes et les biogéographes. Le rôle de ces niveaux est de permettre de classer et d'organiser le monde vivant, si possible de manière hiérarchique. La manière d'organiser les niveaux peut diverger d'un auteur à l'autre. Deux typologies sont souvent employées : l'une résulte d'une approche "systématique", l'autre d'une approche "écologique". Toutefois, l'une et l'autre ont en commun l'**individu**, qui est l'unité de base de toute hiérarchie du monde vivant. Alors que les autres structures résultent d'une construction intellectuelle, l'individu est la seule matérialisation physique incontestable sur laquelle les auteurs s'accordent et sur laquelle les contraintes de l'environnement s'exercent.

- **Typologie "systématique"** : Dans son acceptation générale, l'**espèce** est composée de populations interfécondes; qui partagent plus de similarités génétiques entre elles qu'avec celles des autres espèces. Les espèces sont composées de sous-espèces, de variétés, ... Les espèces s'agencent en **genre, famille, ordre, classe, règne** pour ne citer que les niveaux les plus fréquemment utilisés. Cette typologie hiérarchique est basée sur la notion de temps évolutif. Les espèces qui appartiennent à des genres différents sont évolutivement plus distantes des espèces qui appartiennent aux mêmes genres; il faut remonter plus loin dans le temps pour leur retrouver un ancêtre commun.

- **Typologie "écologique"** : L'un des niveaux inférieurs à l'espèce est la population. La **population** est une collection d'individus, qui appartiennent à la même espèce, et sont en interaction. Ils occupent donc le même espace au même moment. Dans son acceptation générale, l'**espèce** est composée de populations interfécondes; qui partagent plus de similarités génétiques entre elles qu'avec celles des autres espèces.

A l'instar de la population, l'**assemblage**, la **communauté** ou le **peuplement d'espèces** rassemblent les espèces qui partagent le même espace au même moment et sont éventuellement en interaction. Ces interactions s'expriment par des relations de compétition, prédation ou parasitisme. Mais la notion d'assemblage d'espèces n'implique pas nécessairement des relations interspécifiques; des espèces peuvent partager le même espace au même moment parce qu'elles répondent à la même combinaison de facteurs écologiques (biotope). Plusieurs assemblages d'espèces occupant un biotope donné forment une **biocénose**. L'**écosystème** se caractérise par l'ensemble des biocénoses qui occupent un biotope donné. Les écosystèmes forment une sorte de microcosme d'espèces réagissant les unes aux les autres en circuit relativement fermé (ex. un lac, une forêt, un milieu côtier ...).

En conclusion, la **biodiversité** ne se limite pas à un certain nombre de niveaux hiérarchiques, allant **des gènes aux paysages**. A chacun de ces niveaux correspond un ensemble d'interactions, de processus ou de flux :

- d'ordres **génétiques** pour les individus (flux génétique, dépression, spéciation, ...);
- d'ordre **démographiques** pour les populations (extinction, recolonisation, mortalité, fécondité, ...);
- d'ordres **interspécifiques** pour les espèces (compétition, prédation, parasitisme, ...);
- et enfin d'ordre **énergétiques** pour les écosystèmes (chaîne alimentaire, décomposition, ensoleillement, ...).

C'est la caractérisation et la compréhension de ces flux et mécanismes qui régissent la biodiversité à différentes échelles géographiques et temporelles qui forment les axes de recherches les plus passionnantes de la Biogéographie moderne.

1.2.2 LES NIVEAUX DE PERCEPTION, ECHELLES SPATIALE ET TEMPORELLE

Il existe une relation étroite entre les différents niveaux des trois axes (biodiversité - espace - temps) en biogéographie (**Figure 2**).

La typologie "écologique" intègre prioritairement les interrelations entre les unités qui composent un des niveaux de complexification. Mais elle intègre aussi l'échelle spatiale à laquelle les différents niveaux sont étudiés. En effet, lorsqu'on s'intéresse au niveau des individus (dispersion, survie, comportement, ...), on travaille nécessairement à une grande échelle, localement, dans des stations bien définies. S'il est possible de suivre ainsi quelques populations, il est matériellement impossible d'étudier l'ensemble des individus qui appartiennent à une espèce, même moyennement rare, dans une région donnée. Par contre, dès que l'unité de travail est le niveau de la population (répartition, taille, extinction, colonisation, ect ...), une approche régionale, à une échelle plus petite, est généralement possible. Les informations ou les données biologiques récoltées seront différentes d'un niveau à l'autre.

Par ailleurs, si le niveau biologique impose une échelle géographique, il impose aussi une échelle temporelle. Les phénomènes qui s'étudient localement, à grande échelle géographique, peuvent être répétés sur des petites unités de temps (minute, heure, jour, ...). Mais, dès que l'échelle géographique diminue, que l'on passe du niveau local au niveau régional, l'unité de temps devient aussi plus grande (saison, année, décade, ...). L'observation de toute structure ou processus biologique impose donc une échelle biogéographique et temporelle donnée; une unité biogéographique a toujours une dimension géographique et une dimension temporelle propres. En résumé, toute cette théorie peut se résumer suivant la figure ci-dessous :

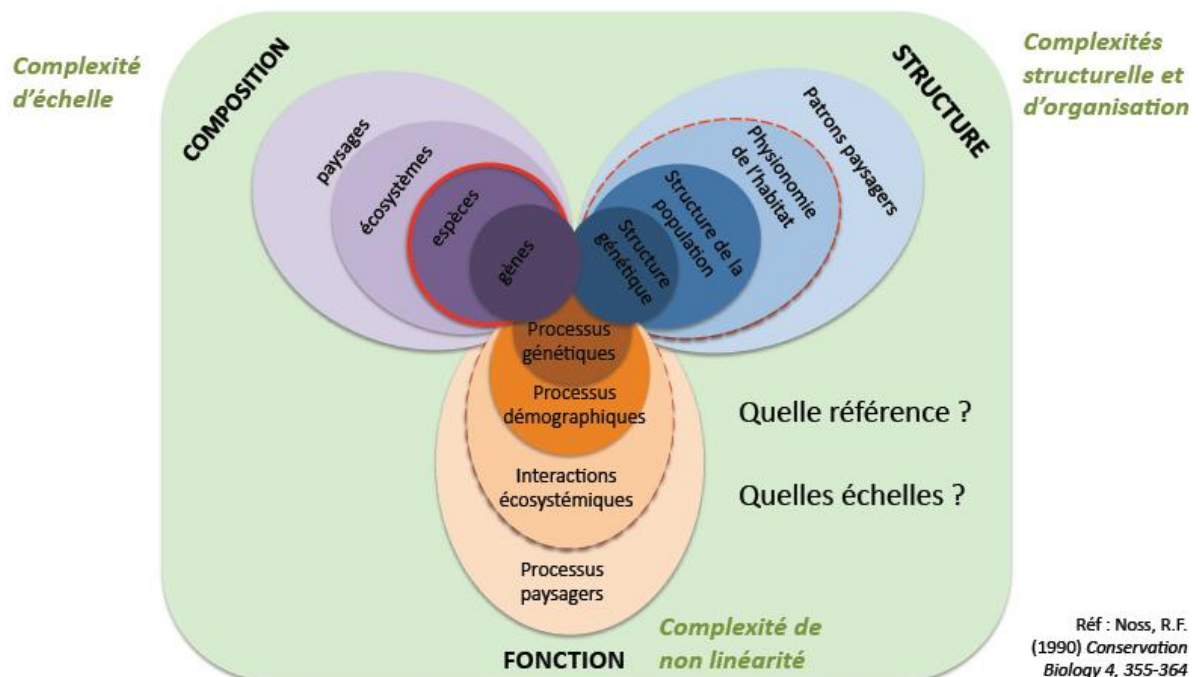


Figure 2. Dimensions de la Biodiversité. La composition montre ce qui est présent, la Structure explique comment les éléments présents sont organisés les uns par rapport aux autres tandis que la fonction fait référence aux processus qui génèrent la biodiversité et qui affectent la structure et la composition

Sur la Figure 3, nous présentons quelques exemples de fonctions, échelles d'espace et de temps auxquelles celles-ci sont appréhendées dans les systèmes terrestres.

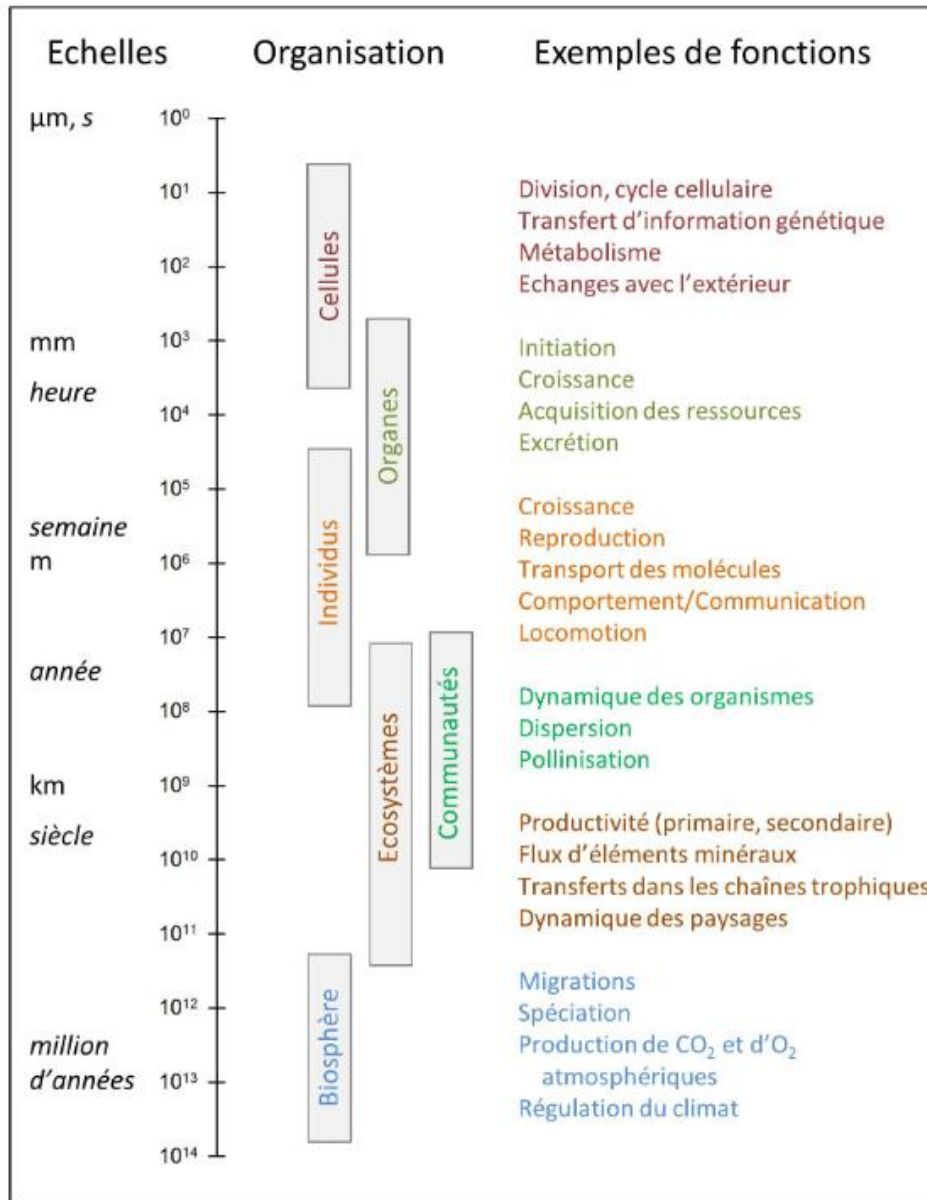


Figure 3. Exemples de fonctions, échelles d'espace et de temps selon les systèmes terrestres

1. 3. OBJECTIF DU COURS

Cette partie du cours de Biogéographie a pour objectif principal d'expliquer aux étudiants les principaux facteurs et processus qui causent la dynamique et la répartition actuelle et passée des organismes vivants, de montrer aux étudiants les aires de répartition des organismes à différentes échelles; d'initier les étudiants à la notion de biogéographie insulaire et d'expliquer aux étudiants le phénomène de Successions et perturbations écologiques.

CHAPITRE II. HISTORIQUE DE LA PHYTOGEOGRAPHIE

2.1. INTRODUCTION

A la surface de la terre, toutes les espèces ne sont pas uniformément réparties. Certaines sont caractérisées par une très grande répartition géographique et d'autres ont tendance à être localisée dans une petite entité géographique. Ces types de répartition correspondent à des zones de taille variables qui peuvent être expliquées par des caractéristiques édaphiques, climatiques, écologiques, biologiques et ou floristiques.

Dans le temps, la Phytogéographie se limitait à décrire la répartition des flores et faune, à délimiter les empires terrestres et floraux où la biodiversité est plus homogène et à étudier les mécanismes de dispersion, de colonisation, d'extinction et d'évolution à l'échelle des continents. Il convient de rappeler la signification de ces termes ci-haut mentionnés. Ainsi,

- **La dispersion** se définit comme étant le mouvement des organismes à partir d'un point d'origine vers une nouvelle localité. La dispersion est la capacité des organismes de se déplacer de leur lieu de naissance à un nouveau site et est un processus écologique qui fait partie de l'histoire de vie de chaque espèce. Sans dispersion, génétique l'échange est limité et les espèces n'ont pas la chance de s'adapter à un nouvel environnement. La dispersion est une partie importante du processus de l'évolution. Les animaux atteignent la dispersion en marchant, en nageant, volant, etc. Les plantes se dispersent un peu plus passivement grâce à leurs agents de dissémination : eau, vent, animaux, etc... Il existe de nombreux obstacles à la dispersion. Sans ces barrières, chaque espèce se produirait partout. Les obstacles sont spécifiques : ils affectent chaque espèce différemment. Par exemple, un vaste corps de l'eau peut constituer un obstacle aux habitants terrestres, mais il est probable qu'il n'y ait poisson.

Nous distinguons ainsi :

- **les barrières physiologiques** qui sont celles liées aux conditions de l'environnement original d'une espèce sans lesquelles elle ne peut pas survivre pendant très longtemps. **Exemple: la plupart des poissons d'eau douce ne peut survivre très longtemps dans les eaux salées**
- **Les barrières écologiques comprennent** la prédation et la concurrence. **Les barrières physiques** peuvent être liées à une dispersion difficile. Les exemples sont bons habitats trop loin ou trop difficile à atteindre à travers une chaîne de montagnes, l'autre côté d'un océan, etc.

- **La Colonisation** constitue un processus où des organismes atteignent une nouvelle localité, y survivent, se reproduisent et constituent une nouvelle population.

- **L'évolution** se traduit quand une population survivant dans une zone donnée, subit des changements dans la composition génétique, ce qui induit des changements phénotypiques. Ce processus peut conduire après un temps suffisant à la spéciation.

- **L'Extinction** correspond au processus d'une espèce devenue permanente mais qui n'a plus d'individus sur la terre. Le processus d'extinction se manifeste également par l'élimination d'une espèce d'une zone géographique particulière, mais peut survivre ailleurs. Ce processus peut conduire après un temps suffisant à la spéciation.

Dès 1970, de nouveaux objectifs ont été définis ouvre la biogéographie vers l'écologie et l'étude de l'évolution. En effet, du fait que la distribution spatiale d'un organisme résulte de l'interaction entre une multitude de facteurs et de processus présents et passés, la biogéographie deviendra une science des systèmes qui nécessitent la capacité d'acquérir, de comprendre et d'analyser les données produites par d'autres disciplines. En d'autres termes, tous les mécanismes dit "écologiques" comme l'immigration, l'extinction, la colonisation, la compétition, ... sont liés à la structure géographique et sont responsables de la répartition géographique des êtres vivants. La différence entre écologie, biogéographie et l'étude de l'évolution est une question d'échelle, géographique et temporelle, à laquelle les structures du monde vivant sont étudiées.

En résumé, Cette nouvelle approche de la biogéographie implique que la répartition des êtres vivants (Y) est une combinaison des facteurs historiques, écologiques et biologiques :

$$Y = f(\text{facteurs historiques} + \text{écologiques} + \text{biologiques}) + \text{variation aléatoire}$$

Les **facteurs historiques** sont ceux qui résultent de phénomènes passés, qui ont agit sur les générations précédentes, et sont à l'origine de la localisation actuelle des aires de répartition.

Exemple. La dérive des continents, la succession des glaciations et les changements climatiques sont par exemple à l'origine de nombreux traits actuels de la répartition de la faune et de la flore. Ces facteurs agissent essentiellement à une petite échelle géographique.

➤ Les **facteurs écologiques** s'expriment par le biais des contraintes physiques de l'environnement, des limites physiologiques des êtres vivants et de leur potentiel adaptatif. C'est tout élément du milieu (température, pluies, PH du sol...) susceptible d'agir directement sur les êtres vivants au moins durant une phase de leur cycle de développement. Les cas évidents sont ceux d'espèces dont la distribution est limitée à des conditions écologiques particulières, comme les zones côtières avec les espèces halophiles, les régions calcaires avec les espèces calciphiles, les régions sablonneuses avec les espèces psamophiles, ...

Exemples (migration ou extinction). Illustrations de l'importance des facteurs écologiques : distribution actuelle et ancienne de *Carex pseudocyperus*, avec l'évolution conjointe de facteurs climatiques.

➤ Les **facteurs biologiques** incluent les relations interspécifiques comme la compétition, la prédation ou le parasitisme qui peuvent contraindre elles aussi les répartitions. Toutefois, elles ne s'expriment généralement que localement, aux grandes échelles géographiques.

➤

Exemple : Illustration de l'importance des facteurs biologiques : écologie du papillon *Lysandra coridon* dont la distribution est particulière car sa plante-hôte (*Hippocrepis comosa*) est limitée aux zones calcaires et que le développement du papillon est favorisé par la présence de fourmis *Lasius flavus*; dynamique de la distribution du papillon *Maculinea arion*, qui vit sur le Thym et dont le stade larvaire est strictement liée à une espèce de fourmis (*Myrmica sabuleti*), qui elle exige un couvert végétal ras et dégagé. L'augmentation du couvert végétal entraîné par la disparition du pâturage et la myxomatose explique la régression importante du papillon.

Enfin, à la combinaison de ces trois types de facteurs qui contraignent la répartition d'une espèce, il faut aussi ajouter le hasard (la **variation aléatoire** = le bruit de fond = l'inexpliqué) qui est propre à tout processus et structure biologique.

Exemple. La modélisation des distributions ne pourra jamais conduire à une prédiction parfaite de la présence/absence ou des abondances d'une espèce. En effet, les organismes vivants évoluent dans un environnement dynamique et changeant, prévisible à certaines échelles, imprévisible à d'autres, et dont il est impossible de connaître avec **précision** l'état de **toutes** les unités qui le composent.

En conclusion, le cours de biogéographie et dans le cas présent, de phytogéographie ou la géographie des plantes suppose la connaissance d'autres disciplines dont les plus importantes sont : la systématique (connaissances des bases solides de la botanique), la climatologie, la pédologie, la phytosociologie, la paléobotanique, la géologie, la géographie, etc..... Ces disciplines permettent aux biogéographes ou phytogéographes de mieux expliquer les phénomènes observés.

2.2. QUESTIONS PRINCIPALES EN BIOGEOGRAPHIE vs PHYTOGEOGRAPHIE

Certaines des questions clés que cette discipline de la biologie tente de répondre sont les suivantes: Comment les organismes (plantes) ont-ils pu atteindre leurs habitats actuels? Pourquoi ces organismes ne dépassent pas les limites actuelles? Pourquoi on observe dans tel écosystème un nombre particulier d'espèces? Quels sont les organismes que l'on rencontre dans telle localité? Comment ces organismes sont-ils adaptés à cet environnement? Comment leurs distributions ont-elles changé au fil du temps? De façon simplifiée, « Où? Pourquoi ici, plutôt qu'ailleurs? »

2.3. CONDITIONS DE PRESENCE D'UN ORGANISME

- Il faut qu'une graine soit déposée,
- Milieu propice au développement de la jeune plantule (sol et climat),
- Il ne faut pas qu'elle soit exterminée (homme et faune) et enfin,
- Il ne faut pas qu'elle soit concurrencée par une autre plante.

CHAPITRE III. LA CHOROLOGIE

3.1. DEFINITION

Dans la Biosphère, chaque espèce occupe un territoire qui lui convient en fonction de sa propre évolution et de ses préférences écologiques. Ce territoire est considéré comme une « aire », c'est-à-dire une zone géographique d'extension très variable, en situation de continuité ou de discontinuité, sur laquelle une espèce vivante se rencontre de façon spontanée. La chorologie peut être définie comme une délimitation des aires de distribution géographique des espèces et des autres unités taxonomiques. Ces aires de distribution ne sont pas figées. On observe des phénomènes d'expansion, régression et extinction. C'est aussi l'étude de l'aire de distribution d'une seule espèce et des modalités d'occupation de celle-ci, c'est-à-dire comment une espèce dissémine ses graines ou spores ?

En règle générale, l'organisme à la base de chaque « aire » est considéré comme un « taxon » ou « unité taxonomique » qui a une répartition géographique propre. Le « taxon » correspond le plus souvent à une « espèce » ; on parle alors de la répartition ou de la chorologie de cette « espèce ».

Exemple : « l'aire » de répartition du genre « *Acacia* » dans les zones tropicales. L'*Acacia* a une aire de répartition qui correspond à presque toutes les zones tropicales sèches situées en Afrique, en Amérique du sud et en Asie. Sur **la Figure 4**, nous montrons les zones de présences des espèces du genre *Acacia*, avec une grande concentration dans les zones de l'Afrique du sud et de l'Est. Mais la répartition peut cependant être perçue à des niveaux taxonomiques plus élevés, compte tenu des classements hiérarchiques retenus pour les organismes vivants : « l'aire » de telle « espèce » (végétale ou animale), « l'aire » de tel « Genre », « l'aire » de telle « Famille », « l'aire » de tel « Ordre », Etc.

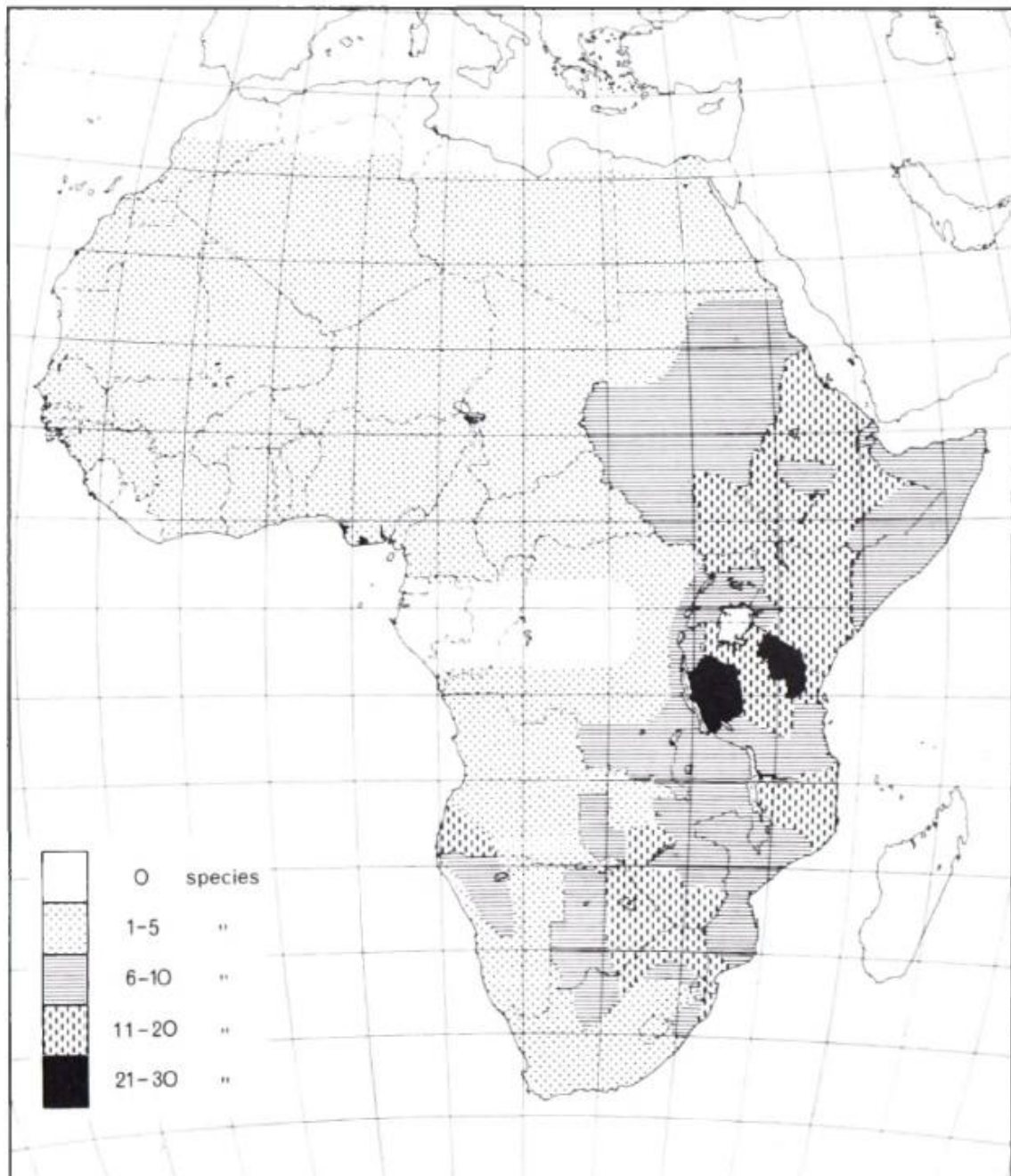


Figure 4. La distribution du genre « Acacia » en Africa. Les chiffres indiquent les zones de plus grandes concentrations des espèces de Acacia en Afrique (Ross, 1981)

3.2. INTERET DE LA CHOROLOGIE

L'étude de la distribution des organismes vivants est justifiée pour plusieurs raisons dont :

- **L'origine** : La répartition actuelle de la flore ou de la faune terrestre permet de s'interroger sur leur origine, les éléments communs entre des territoires parfois séparés par des espaces océaniques ou des barrières montagneuses. Chaque territoire possède des espèces qui lui sont

particulières, d'où elles sont originaires. Des territoires différents peuvent disposer d'espèces communes (ou qui se ressemblent beaucoup, par exemple : les Palmiers). Quelle serait alors la zone d'apparition des éléments identiques de leur flore ?

- **La diversité** (richesse floristique) : Des zones géographiques disposent d'un plus grand nombre d'espèces que d'autres (exemple: milieux tropicaux et milieux polaires). La répartition de la richesse en espèces peut être un élément de caractérisation des territoires.

- **La valorisation des espèces** : Les espèces vivantes sont sources de molécules ou de produits variés servant à de nombreux usages : alimentaire, thérapeutique, récréatif, de construction, etc. La connaissance de la distribution des espèces permet l'exploitation, la valorisation des ressources par les communautés humaines notamment.

- **La conservation** : Toutes les espèces sont par nature fragiles. Elles restent exposées aux risques de réduction voire de suppression de leur aire de répartition, par conséquent menacées de disparition. La connaissance des territoires de prédilection donne la possibilité de prévenir ou de limiter les risques par des stratégies adaptées (au moins aux espèces qui ont le plus de valeur).

3.3- FACTEURS DE REPARTITION DES ORGANISMES

La distribution des êtres vivants est contrôlée par plusieurs facteurs ; certains leur sont propres, d'autres appartiennent au milieu dans lequel se trouvent les organismes.

3.3.1. FACTEURS DE REPARTITION DES ESPECES VIVANTES

Schématiquement, on peut retenir trois catégories :

- **Aptitude à la propagation** : La capacité de produire une grande descendance (capacité de reproduction) et de la propager (pouvoir de dissémination) assure en principe à une espèce la faculté d'occuper des territoires étendus. Cela fait que les espèces fécondes apparaissent a priori privilégiées pour avoir des aires de répartition étendues. Cependant, la fécondité n'implique pas forcément la survie de toute la descendance : chez les espèces prolifiques, le taux de survie des semences est généralement très faible. Chez les plantes, la dissémination se réalise par des mécanismes actifs (propres aux organismes) ou passifs (dépendant de facteurs extérieurs) :

- ✓ Dissémination active : par graine, par multiplication végétative, par rhizomes...
- ✓ Dissémination passive par l'intervention d'un agent de transport comme le vent (anémochorie), l'eau (hydrochorie), les animaux sauvages (zoochorie), et même l'homme (anthropochorie) volontairement (introduction d'espèces) ou involontairement (transferts accidentels) !

- **Potentiel évolutif** : La capacité à conquérir et à occuper un territoire ne reste pas stable mais soumise à des variations car les organismes subissent des pressions constantes qui les font

évoluer en permanence, car le milieu exerce toujours une pression de sélection. Deux types d'évolution :

- ✓ La mutation (changement brutal du potentiel génétique par des processus propres à l'espèce).
- ✓ L'hybridation (changement suite à un croisement entre individus différents).

- **Amplitude écologique** : Chaque espèce se cantonne dans des limites (seuils) correspondant à des valeurs du milieu qu'elle supporte. En général, ce sont des valeurs déterminées par le climat et le sol du territoire d'établissement. Si l'écart entre les limites (climatiques, hydriques, thermiques, édaphiques...) est grand, l'espèce va s'adapter et conquérir de grands territoires. Si l'écart entre ces limites est réduit, l'espèce va se maintenir dans des territoires très limités où ses exigences sont satisfaites.

3.3.2. TYPES D'AIRES

Les types d'aires peuvent être définis selon leurs étendues ou leurs formes et en fonction des exigences écologiques des organismes.

3.3.2.1. AIRE COSMOPOLITE

Il s'agit d'une aire où un taxon (espèce, genre ou familles) quelconque a une aire qui couvre tout le globe terrestre de façon générale. Les espèces dites cosmopolites se rencontrent dans tous les continents. Ce critère théorique est rarement strictement réalisé. On parle plutôt de subcosmopolitisme. Les exemples les plus fréquents de ce type d'aire se rencontrent parmi les plantes aquatiques (eau douce marais, mangrove...) en raison de la relative homogénéité du milieu. A l'intérieur de cette catégorie, on retrouve généralement des taxons dont leur aire de répartition s'étend sur de vastes étendues soit d'un continent ou sur deux ou trois continents. On distingue ainsi les taxons ayant une distribution :

- Néotropical : La distribution géographique du taxon s'étend entre les tropiques du nouveau monde,
- Paléotropical : La distribution géographique du taxon est centrée dans les tropiques de l'ancien monde (Afrique & Asie),
- Pantropical : La distribution géographique du taxon s'étend sur l'ensemble de tous les tropiques du monde.
- Afrotropical : La distribution géographique du taxon est centrée dans les tropiques d'Afrique.

De même, à l'intérieure de ces zones géographiques, on peut observer également des taxons dont leurs aires de répartitions ne dépassent pas une région phytogéographique. Ainsi on distinguera par exemple, les espèces à distribution Guinéo-congolaise, zambézienne ou méditerranéenne selon le schéma de **Lebrun, 1947 (Figure 5)**.

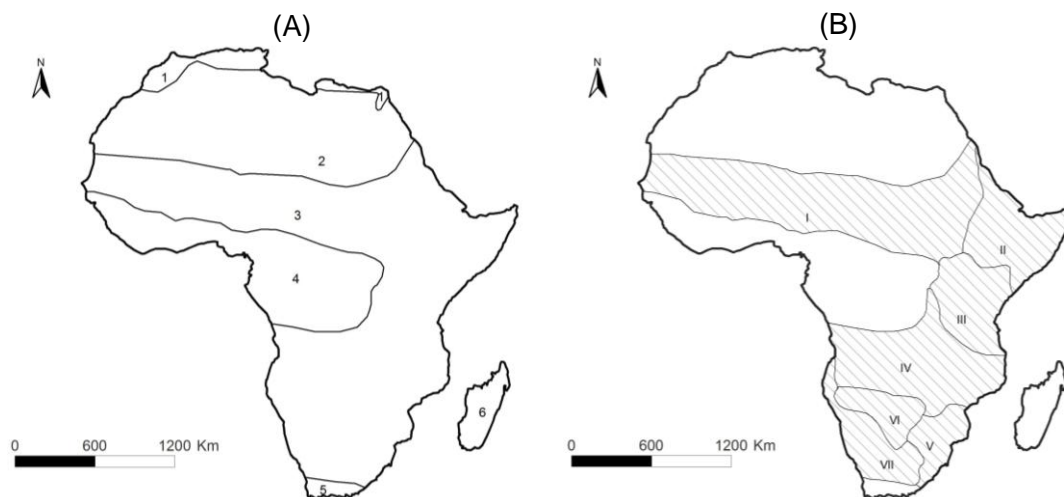


Figure 5: Les territoires phytogéographiques de l'Afrique (Lebrun, 1947). A: Subdivisions de l'Afrique en Six régions (1: Région méditerranéenne, 2: Région saharo-sindienne, 3: Région soudano-zambézienne, 4: Région guinéenne, 5: Région du cap, 6: Région malgache). B: Subdivisions de la région soudano-zambézienne en Sept domaines (I: Domaine sahélo-soudanien, II: Domaine somalo-éthiopien; III: Domaine oriental; IV: Domaine zambézien; V: Domaine du Kalahari, VI: Domaine du Namaqualand et du Karoo, VII: Domaine des savanes et forêts Sud-Africaines).

3.3.2.2. AIRE ENDEMIQUE

C'est une aire à distribution géographique limitée. La dimension géographique est variable suivant l'unité taxonomique considérée. On distinguera ainsi les espèces endémiques qui sont propres à un continent, à une région, à un pays, à un continent ou spécifique d'un type de milieu (rochers, tourbières, sable). Dans les termes les plus simples, tous les individus connus des espèces endémiques sont distribués sur une seule région. Ci-dessous un exemple sur les **Orchidaceae du Rift albertin (Figure 6)**.



Figure 6 : Répartition des espèces endémiques de la Famille des Orchidaceae du Rift albertin (Muhongere et al., 2009)

3.3.2.3. AIRE CIRCUMTERRESTRE

Certaines distributions d'organismes restent liées à des limites strictes en latitude. Elles apparaissent par conséquent avec une disposition en bandes correspondant à une localisation latitudinale. On distingue ainsi des taxons à aires circumboréales (les pingouins), circumtempérées (groseilliers) ou circumtropicale (Palmacées). Ces aires sont aussi qualifiées de zonales.

3.3.2.4. AIRE DISJOINTE

Il s'agit de répartition présentant des discontinuités importantes entre les zones d'installation d'une Espèce ou d'une Famille d'organismes. On peut ainsi retrouver des individus appartenant au même taxon, mais localisés dans des zones géographiques très distantes. De manière simplifiée, le terme de **distribution disjointe** (ou endémisme disjoint) identifie la distribution géographique d'un groupe d'espèces apparentées, par exemple deux espèces d'un même genre, occupant des aires géographiques séparées. L'origine du groupe d'espèces, maintenant disjointes, s'est faite par dispersion à partir d'un lieu unique (le "centre d'origine") ou par isolement de fractions diverses d'une seule et même population ancestrale cosmopolite, donc par **vicariance (Figure 8)**.

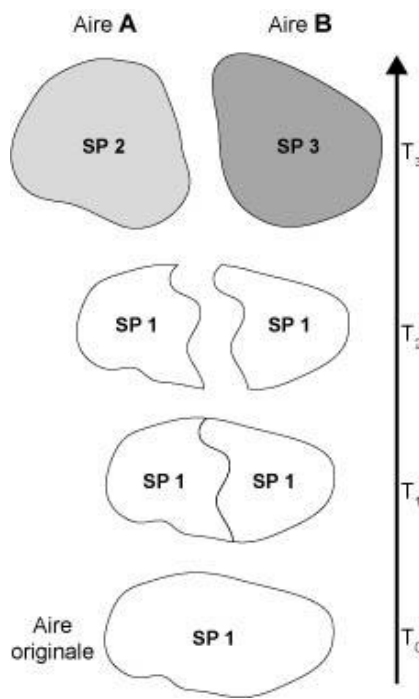


Figure 8. Modèle de la Vicariance (Cessa, Online). La division de la population originale SP1 à la suite de la formation d'une barrière aboutit à l'isolement reproductif des deux populations. Au temps T_3 nous aurons deux nouvelles espèces, SP2 et SP3, respectivement endémiques à l'aire A et à l'aire B. Ce modèle correspond à la vicariance. Il faut noter que les populations sont passives par rapport à l'événement qui les subdivisera en les isolants.

3.3.3. ETAT DES CONNAISSANCES DES ESPECES ENDEMIQUES AU BURUNDI

Nous utilisons le terme « **endémique** » pour désigner une espèce dont l'aire de distribution ne dépasse pas les limites d'une région phytogéographique. Peu de données existent sur le nombre exact des endémiques qui sont connues uniquement pour le Burundi. Dans son inventaire, Lewalle (1972) avait recensé 53 espèces endémiques du Burundi occidental. Ce chiffre a été par la suite mis en cause par d'autres études qui ont pu prouver que la plupart de ces taxons avaient une plus large distribution géographique. Ceci a été possible grâce aux travaux de révisions systématiques. Dans leur étude sur les connaissances actuelles des espèces ligneuses autochtones du Burundi, une nouvelle liste a été dressée par Bigendako *et al.* (2009). Ces espèces endémiques sont présentes uniquement dans certaines régions du Burundi. Cette liste a été obtenue grâce à la compilation des données bibliographiques présentes pour le Burundi. A l'heure actuelle, 20 espèces sont signalées comme endémiques du Burundi (**Tableau 1**). Ce chiffre ne reflète pas cependant la réalité car toutes les familles n'ont pas été suffisamment étudiées. En conclusion, les connaissances des espèces endémiques pour le Burundi restent fragmentaires et seuls quelques groupes sont connus.

Tableau 1 Liste de 20 taxons endémiques de certaines régions du Burundi (Bigendako *et al.*, 2009, modifié).

Espèces	Famille	Localités	Habitat
<i>Anisosepalum lewallei</i> Bamps	<i>Acanthaceae</i>		
<i>Anisopansis burundensis</i> Lisowski	Asteraceae	Gitega	Pélouse sur latérite Formation herbeuse,
<i>Crepis urundica</i> Babc.	Asteraceae	Tora, Ruvyironza	jachères
<i>Impatiens bururiensis</i> Fischer	Balsaminaceae	Siguvyaye Bugarama,	Forêt de montagne Formation herbeuse
<i>Wahlebergia pulchella</i> Thulin subsp. <i>Pulchella</i>	Campanulaceae	Mugongo-Manga, Isare, Ruvyironza	de montagne, endroits humides
<i>Cyperus lejeunii</i> Cherm.	<i>Cyperaceae</i>		
<i>Crotalaria andromedifolia</i> Wiczek	<i>Fabaceae</i>	Bututsi, Bururi, Gitega, Rutana, Rusengo	
<i>Faroa axillaris</i> Bak.	Gentianaceae		
<i>Faroa acumunata</i> P. Taylor	<i>Gentianaceae</i>		
<i>Faroa graveolens</i> Baker	<i>Gentianaceae</i>		
<i>Streptocarpus burundianus</i> Hilliard et Burt	<i>Gesneriaceae</i>		
<i>Diaphananthe alfredi</i> Geerinck	<i>Orchidaceae</i>	Teza	Forêt de Montagne
<i>Polystachia maculata</i> Cribb	<i>Orchidaceae</i>	Siguvyaye, Bururi	Forêt de montagne
<i>Adenia lewalei</i> A. Robyns	<i>Passifloraceae</i>	Siguvyaye	Forêt de montagne
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. var. <i>ruziziensis</i> (Ger. & Evr.)	<i>Poaceae</i>		

Ndabaneze

Otiophora lebruniana (Bamps)

Robbr. var. devrediana Bamps *Rubiaceae*

Otiophora rupicola Verdc. *Rubiaceae*

Sericanthe burundensis

Robbrecht *Rubiaceae*

Thesium passerinoides Robyns et

Lawalrée *Santalaceae*

Burundi occidental Cfr. Lewalle (1972)

Sphagnum slooveri A. Eddy *Sphagnaceae*

Ijenda Tourbière

3.3.4. HYPOTHESE DES ZONES DE REFUGES EN AFRIQUE

Les recherches géologiques et palynologiques effectuées en Afrique centrale ont permis de montrer que les forêts d'Afrique centrale ont subi des perturbations importantes durant les fluctuations climatiques de la période du quaternaire, il y a près de 2500 ans BP). Ces perturbations se seraient traduites d'abord par une disparition des arbres de type forêt primaire, puis par une forte extension des savanes. Les forêts du littoral auraient par exemple disparu au cours de l'époque du Pléistocène. Les végétations savanicoles auraient remplacé une grande partie des étendues forestières actuelles. Cette phase aurait été brève car il y aurait eu une expansion des arbres pionniers tels que le Parasolier (*Musanga cecropioides*, Moraceae), le macaranga (*Macaranga barteri*, Euphorbiaceae), et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*, Arecaceae) correspondant à une phase de cicatrisation qui aurait permis la reconstitution de la canopée de l'ensemble du domaine forestier africain. La reconquête forestière aurait débuté vers 2000 ans B.P et se poursuivrait actuellement très activement à l'ensemble du domaine forestier Africain; certaines photographies aériennes datant des années 50 le démontrent. La figure 9 ci-dessous montre la localisation des zones de refuges en Afrique.

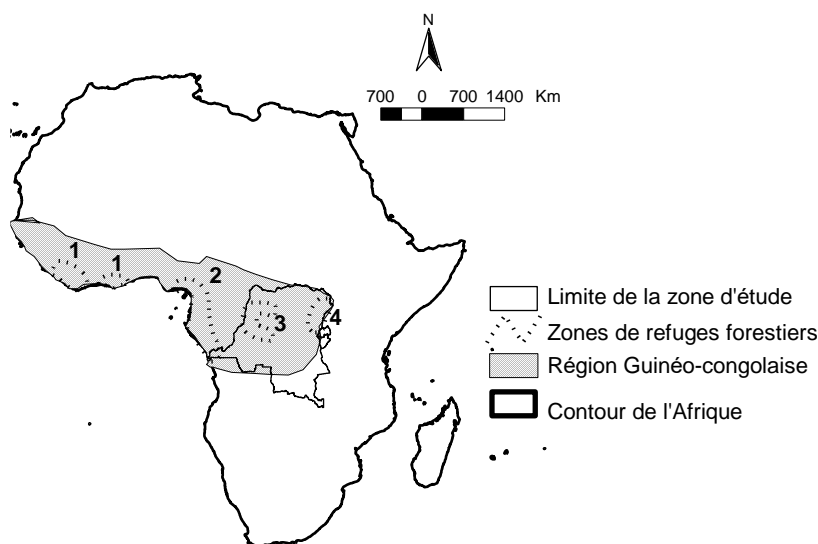


Figure 9 : Répartition actuelle des refuges forestiers de l'Afrique et la région Guinéo-congolaise (1: le Refuge de Haute Guinée, 2: le Refuge Camerouno- Gabonais, 3: le Refuge du bassin du Congo, 4: le Refuge des montagnes de l'Est de la R. D. Congo (Maley, 1996).

3.3.5. METHODES D'ANALYSE DES AIRES

Différents procédés permettent de définir les ensembles floristiques originaux, de localiser les territoires où se manifestent des "coupures" floristiques de situer les limites cartographiques de ces groupes et de hiérarchiser ceux-ci.

La **comparaison des aires** : lorsqu'on dispose de suffisamment de données concernant la répartition des taxons, on peut comparer ces aires, rapprocher celles qui présentent des traits communs et individualiser les territoires au sujet desquels se manifestent de nombreuses corrélations aérographiques. On peut citer la coïncidence des aires du chêne vert (*Quercus ilex*), du chêne kermès (*Q. coccifera*), de l'arbousier (*Arbutus unedo*), de l'olivier (*Olea europea*), du pin d'Alep (*Pinus halepensis*), du laurier rose (*Nerium oleander*), ... qui se superposent plus ou moins régulièrement autour du bassin méditerranéen. Ces espèces forment un élément, qualifié dans ce cas de méditerranéen.

Les **gradients floristiques** : on peut aussi établir la statistique des espèces lorsqu'on effectue un déplacement d'une amplitude donnée sur un transect. L'évolution régulière ou irrégulière des nombres d'espèces nouvelles ou d'espèces qui disparaissent au fur et à mesure de la progression indique la présence de zones de rupture biogéographique majeures.

CHAPITRE IV. LES BIOMES TERRESTRES ET LES TERRITOIRES PHYTOGEOGRAPHIQUES DU MONDE

4.1. LES BIOMES TERRESTRES DU MONDE

4.1.1. DEFINITION

Un **biome** est une communauté vivante qui se rencontre sur des vastes surfaces en milieu continental. Les biomes correspondent à des subdivisions latitudinales sous forme de bandes, de l'équateur vers les pôles, en fonction du climat et du milieu (aquatique, terrestre, montagnard). La répartition des biomes est généralement fondue sur les adaptations des espèces au froid et/ou à la sécheresse. Par ailleurs, il n'y a pas de frontière nette entre deux biomes. Les zones de transition où se chevauchent deux systèmes se nomment *écotones*.

La notion de biome est utilisée essentiellement en écologie terrestre. Les biomes terrestres sont donc des écosystèmes terrestres caractéristiques de grandes zones biogéographiques qui sont soumises à un climat particulier (1) et caractérisées par une biocénose ou communauté (2) climacique (3) caractéristiques.

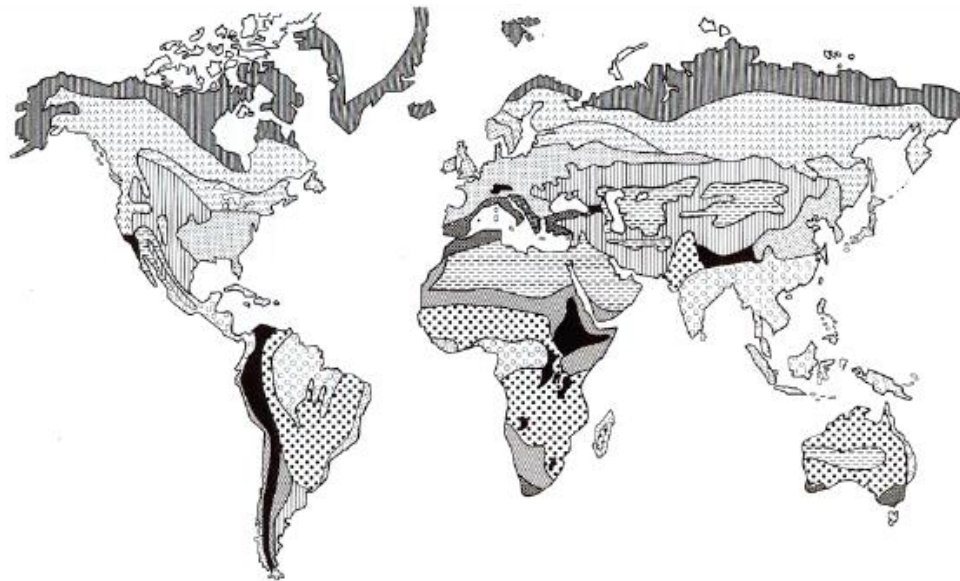
(1) Les modèles de Température et de Précipitation au cours d'une année créent le climat d'une zone géographique.

(2) La biocénose comprend tous les êtres vivants : c'est une communauté, désigne l'ensemble des 3 groupes écologiques fondamentaux d'organismes qui peuplent tout écosystème : les producteurs, végétaux autotrophes + les consommateurs, animaux + les décomposeurs, champignons et micro-organismes hétérotrophes

(3) Un biome se reconnaît généralement à sa biocénose climacique, c'est-à-dire une biocénose relativement stable (à maturité), résultant de l'interaction des êtres vivants et du climat au cours d'une succession et en équilibre avec les conditions physiques locales.

De façon simplifiée, les biomes terrestres sont définis par la structure caractéristique de leur végétation qui, à son tour, est influencée par le climat de la région.

La répartition des biomes est sous le contrôle du macro-climat, car les facteurs édaphiques interviennent rarement à cette échelle. Les biomes ont donc fréquemment une distribution zonale en bandes plus ou moins parallèles à l'équateur (**Figure 10**).



Répartition des grands biomes : 1) toundra, 2) forêt boréale de conifères, 3) forêt mixte de feuillus et de conifères, 4) forêt caducifoliée tempérée, 5) steppe de Poacées, 6) désert, 7) forêt sclérophylle méditerranéenne, 8) semi-désert, 9) savane et forêt claire caducifoliée tropicale, 10) forêt ombrophile tropicale, 11) écosystèmes montagnards (zonation complexe) (Ramade, 1990).

Figure 10 : Les principaux biomes du Monde (Ramade, 1994 modifié)

Huit grandes catégories de biomes sont présentées: la forêt ombrophile tropicale, la savane, les déserts, la prairie tempérée, la forêt décidue tempérée, la forêt sempervirente tempérée, la taïga et la toundra. Ces biomes se rencontrent dans le monde entier et occupent de vastes régions que l'on peut définir par les pluies et la température. Six autres biomes sont considérés par certains écologistes comme des sous-unités des huit principaux : les glaces polaires, les zones montagneuses, le chaparral, la forêt sempervirente chaude et humide, la forêt de mousson et le semi-désert. Ils diffèrent notablement les uns des autres parce qu'ils ont évolué dans des régions caractérisées par des climats très différents.

Il peut y avoir des perturbations locales dans cette distribution, dues à des barrières physiques comme les océans, les montagnes ou autres irrégularités de surface traversant chaque continent. Cette disposition zonale est mieux marquée dans l'Hémisphère nord que dans l'Hémisphère sud où les terres émergées ont une superficie plus réduite, surtout dans les zones à climat froid et tempéré. Dans la majorité des cas, la végétation fournit les traits essentiels de la physionomie des biomes, les animaux ayant une biomasse bien moins importante. La végétation donne également la réponse la plus visible des communautés vivantes aux conditions climatiques. C'est pour cette raison que les grandes lignes de la division du globe en biomes sont surtout établies à partir de l'étude de la végétation. La végétation est donc une aide à la caractérisation des grandes divisions du globe en biomes. Toutefois, les limites sont difficiles à définir en raison du changement graduel du type de communauté en relation avec le changement graduel du climat et du sol. Les grandes formations climaciques sont des forêts, sauf dans les régions désertiques ou semi-désertiques, dans les régions arctiques et dans les hautes montagnes.

4. 1. 2. Répartition des principaux biomes terrestres

Les principaux biomes terrestres sont répartis comme suit :

- Dans les régions tempérées et froides :
 - les forêts de conifères des régions boréales : la taïga
 - les forêts décidues des régions tempérées
 - les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes
 - les formations herbacées naturelles : prairies et steppes
- Dans les régions tropicales humides
 - les forêts équatoriales sempervirentes
 - les savanes
- Dans les régions arides et semi-arides
 - les déserts
 - la toundra

Les hautes montagnes qui sont des formations azonales, contrairement à la plupart des grands biomes, offrant aux êtres vivants des conditions de vies très spéciales.

En conclusion, On peut dire que la distribution des espèces à la surface de la terre n'est pas aléatoire. Elle dépend des facteurs écologiques et des préférences des organismes. La combinaison des précipitations et de la température permet de diviser le globe en grands domaines morpho climatiques. A une échelle plus large, on peut observer quatre zones éco climatiques qui se retrouvent autour du globe : le tropical qui est chaud et humide, le tempéré humide, le polaire et l'aride. A une échelle plus fine, on peut observer que certaines régions du globe où les conditions climatiques sont identiques, sont occupées par des écosystèmes de nature comparable. Les limites des grandes formations végétales concrétisent ainsi des discontinuités remarques du milieu naturel. Les biomes sont donc des macrosystèmes de dimension régionale, homogènes du point de vue climatique (Température et Précipitations). Le nombre de biomes identifiés dépend de la résolution spatiale souhaitée et on en distingue 8 à 100 selon les auteurs. Toutefois, il faut retenir que la physionomie de la végétation sert de base à la délimitation des biomes. On a 24% de la superficie qui est occupée par les forêts, 15 % par les savanes, 15 % par les prairies et Toundra. Il faut ajouter les aires cultivées qui représentent plus de 10% de la surface des terres émergées, ainsi que les déserts et les étendues glacées qui constituent à elles seules 30%. Les biomes constituent donc une organisation écologique car on peut mettre en relation les caractéristiques du climat et celles de la végétation (**Figure 11**).

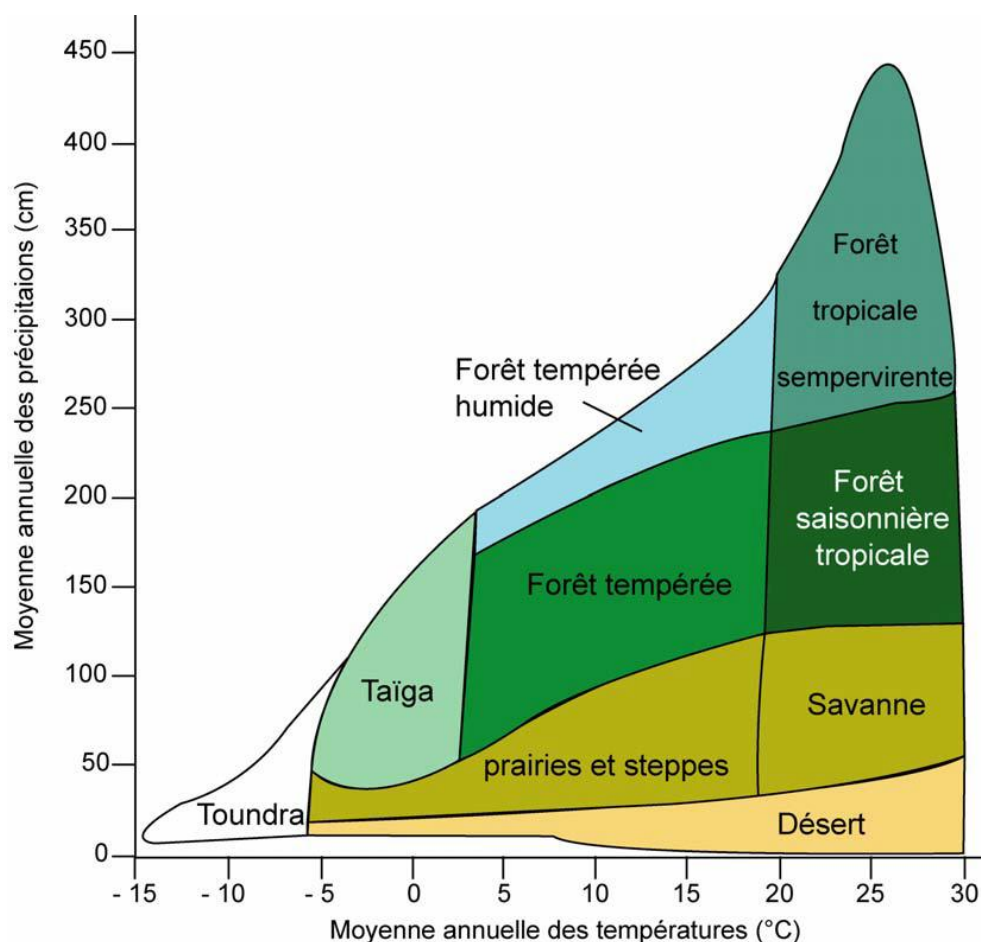


Figure 11. Répartition prévue des biomes.

La température et les précipitations permettent de prévoir la répartition des biomes. Pour des précipitations annuelles moyennes comprises entre 50 et 150 cm, d'autres facteurs – comme une sécheresse saisonnière, les feux et le pâturage, ont aussi une grande influence. En conclusion, les différences de température et de précipitations moyennes au cours de l'année sont de bons critères pour prédire le biome d'une région.

4.1.3. LES PRINCIPAUX ELEMENTS CARACTERISTIQUES DE CHAQUE BIOME

4.1.3.1. Les forêts de conifères des régions boréales ou la taïga

La taïga est une ceinture de forêts qui borde la toundra au sud et qui constitue 31% des forêts du globe. Elle est très développée au Canada et dans le nord de l'Eurasie. Son climat est caractérisé par 4 mois dont la T° moyenne est supérieure à 10°C ce qui permet l'installation de la forêt. Les hivers sont longs, 6 mois à moins de 0°C et l'enneigement dure 160 à 200 jours par an. Les biocénoses de la taïga sont récentes et pauvres en espèces. Les arbres sont donc adaptés au froid et on va trouver essentiellement des Conifères (pin, sapin, épicéa, mélèze) mêlés de quelques feuillus comme le saule. Le sous-bois est riche en arbustes de type Ericacées (*Vaccinium*, *Empetrum*). Les animaux sont représentés par de grandes espèces de Cervidés (élan, wapiti, renne), des petits mammifères végétariens (écureuils, porc-épic, lemmings), des carnivores (ours, loup, renard, glouton, martre, vison, animaux à fourrure). Les oiseaux sédentaires sont peu représentés, beaucoup migrent en hiver, on retient le coq de bruyère, le bec croisé.

4.1.3.2. Les forêts décidues des régions tempérées

On les trouve en Europe tempérée, depuis l'Atlantique jusqu'au versant sibérien de l'Oural, en Chine septentrionale et centrale, sur le continent nord américain du 110^e parallèle jusqu'à la latitude du Saint Laurent. Elles sont quasi inexistantes dans l'hémisphère sud sauf en Australie et Nouvelle Zélande. Pour décrire ces forêts, on peut prendre comme exemple les forêts de la plaine de l'Europe occidentale. Ces forêts sont composées d'arbres à feuilles caduques, chêne, hêtre, châtaignier, charme, tilleul, érable, dont la composition varie selon les régions. La composition est la suivante : chênes 34%, hêtre 15%, pin maritime 12%, charmes 8%, pin sylvestre 7%, sapin 7%, épicéa 3%. Un arbre décadu est celui qui perd ses feuilles en hiver (**Figure 12**).



Figure 12 La forêt décadu tempérée.

Les grandes espèces de mammifères ont disparues ou sont très menacées (réintroduction). Il reste le cerf, le chevreuil, le sanglier qui n'ont plus de prédateurs naturels pour contrôler leurs effectifs (contrôle par la chasse). Des petits mammifères (renard, blaireau, divers mustélidés et rongeurs) et beaucoup d'oiseaux, d'insectes et de micro-organismes. Dans toute l'Europe, il ne reste presque plus de forêts vierges non modifiées par l'Homme. Celles qui subsistent montrent une structure et une biodiversité plus complexes que celles aménagées maintenant.

4.1.3.3. Les forêts sempervirentes des régions méditerranéennes

Les régions à climat de type méditerranéen sont caractérisées par une T° annuelle moyenne de l'ordre de 15 à 20°C : les étés y sont secs et chauds ce qui entraîne un arrêt de la croissance de la végétation, les hivers y sont doux et humides et les gelées exceptionnelles. Dans le bassin méditerranéen, la limite de la région méditerranéenne correspond à peu près à celle de l'olivier et quelques autres plantes caractéristiques comme le chêne vert, le chêne kermès, l'arbousier. Des régions au climat analogue existent en Californie, en Afrique du sud et en

Australie. Beaucoup de conifères caractérisent la région méditerranéenne : les 2 espèces les plus répandus sont le pin d'Alep et le pin maritime. La végétation méditerranéenne primitive a été presque partout détruite par le feu particulièrement et remplacée par des stades de dégradation connus en France sous le nom de maquis et de garrigue. Dans le maquis et la garrigue dominent des buissons à feuilles épineuses ou persistantes comme diverses espèces de Cistes, le romarin la lavande... Beaucoup de végétaux se sont adaptés à ces conditions climatiques : feuilles petites, épaisses et dures, persistantes, végétation sclérophylle ; beaucoup résistent au feu : *végétation pyrophyte*. Une faune régionale originale : reptiles (grand lézard, lézard vert, couleuvre, vipère), grands mammifères peu nombreux, oiseaux frugivores, rongeurs et de nombreux insectes.

4.1.3.4. Les formations herbacées naturelles : prairies et steppes

Les formations herbacées naturelles représentent le plus vaste biome terrestre. Elles couvrent 24% de la surface des continents soit 46 millions de km² et se rencontrent sur tous les continents. Ces formations s'installent dans les régions tempérées, au cœur des continents, lorsque le climat est caractérisé par des étés chauds et humides et des hivers froids. La pluviosité annuelle est de l'ordre de 300 à 500 mm/an et peut atteindre 1000 mm/an. On inclut dans les formations herbacées naturelles la steppe russe, la prairie nord-américaine et la pampa sud-américaine. *La végétation est dominée par les Poacées accompagnées de Cypéracées*. Les arbres sont presque totalement absents. La faune comprend beaucoup de mammifères fouisseurs (marmotte, chien de prairie, écureuil, grand hamster, rat taupe...), de grands mammifères Ongulés mobiles comme l'antilope, l'âne sauvage... et de nombreux insectes (criquets, sauterelles qui peuvent parfois pulluler).

4.1.3.5. Les forêts équatoriales sempervirentes ou les forêts ombrophiles tropicales

Elles sont connues aussi sous le nom de forêts denses, forêts ombrophiles et occupent les régions chaudes, bien arrosées toute l'année, sans saison sèche ou de très courte durée. Elles existent dans 3 régions principales : l'Amazonie, l'Afrique occidentale et centrale, et l'Indo-Malaisie (**Figure 13**).

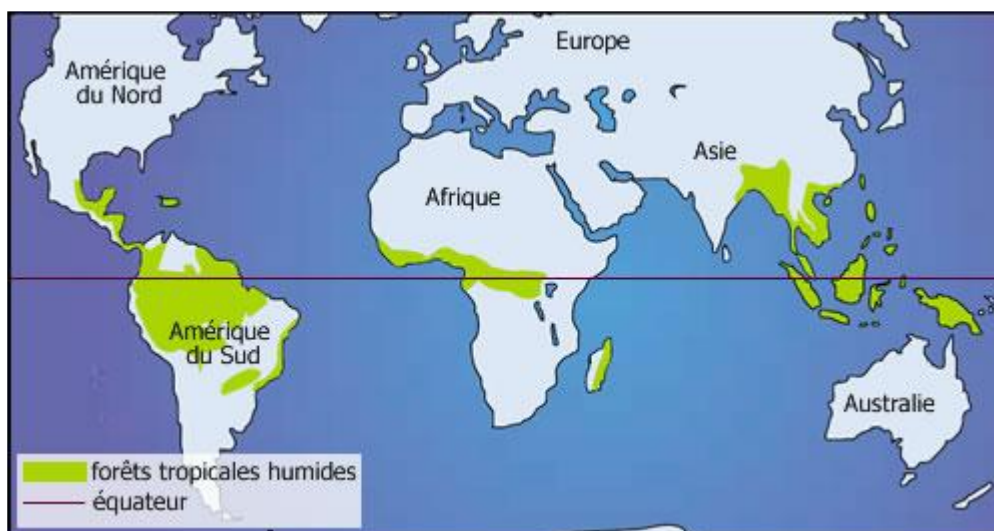


Figure 13. Répartition des Forêts Equatoriales à l'Echelle Mondiale

Il n'existe donc pas de saison sèche et ce biome est marqué par une constance des caractères écologiques et biologiques. La température est à peu près stable et oscille de 24 à 28°C. La température est donc chaude toute l'année et les précipitations élevées, 2500 à 8000 mm/an. Les formes d'adaptation à ce milieu sont très nombreuses. Ainsi, les grands arbres atteignant pour la plupart 50 mètres de haut, ont un tronc droit et lisse et ne se ramifient qu'à leur sommet. Ils possèdent souvent une base élargie sous forme de contreforts ailés, compensant ainsi un enracinement horizontal peu profond. La cauliflorie, c'est à dire le développement des fleurs sur le tronc d'un arbre, y est fréquente (Figure 14).



Cauliflorie sur un cacaoyer



Adaptation du Fromager : développement d'une base élargie

Figure 14. Cauliflorie et de développement des espèces à base élargie

La richesse de la composition floristique et la diversité des espèces particulièrement élevée est caractéristique de ce biome. On relève en effet pas moins de 600 essences forestières en Afrique et 2.500 en Amazonie. De très nombreuses familles y sont représentées comme les Rubiacées, Sterculiacées ou Moracées. Il y a cependant une prédominance des légumineuses comme les Césalpinaciées surtout en Amérique et en Afrique. En Asie, ce sont les Diptérocarpacées. *On citera les Palmiers, les Diptérocarpacées, les Orchidées, les Euphorbiacées, les Rubiacées.* La stratification de la forêt équatoriale est complexe : une strate supérieure d'arbres géants qui dépassent 50 m de hauteur (appelés émergents), une strate moyenne presque continue à 30-40m et une strate d'arbres plus petits entre 15 et 25m. La strate herbacée est clairsemée et formée d'espèces sciaphiles (Fougères, Sélaginelles) (Figure 15).



Figure 16. Exemple d'images correspondant à la forêt ombrophile tropicale.

La faune de ces forêts renferme beaucoup de groupes reliques (Onychophores), ainsi que des groupes normalement aquatiques (planaires) profitant du microclimat humide des sous-bois. On rencontre également de nombreux mammifères arboricoles (singes, lémuriens) qui ne descendent jamais à terre et des mammifères terrestres (antilopes, okapi, hippopotame..), des reptiles, des oiseaux et de nombreux insectes.

4.1.3.6. Les savanes

Les savanes sont des formations végétales intertropicales couvrant des surfaces très étendues dans des régions à climat ensoleillé, chaud en été (T° moyenne annuelle 26°C) et pluviosité faible en moyenne de 250 à 1000mm/an en fonction du type de savane. Les savanes herbeuses sont caractérisées par une végétation formée de *Poacées dures*, hautes de 80 cm à plusieurs mètres. C'est un tapis herbacé dense et difficilement pénétrable. Ces savanes herbeuses sont particulièrement bien représentées en Afrique, en Amérique du sud. Les savanes arbustives sont caractérisées par la présence d'arbres plus ou moins dispersés (*Acacia*, *Baobab*, en Afrique, *Eucalyptus* en Australie, *Cactacées* en Amérique du sud) d'une taille inférieure à 15m avec une écorce épaisse renfermant beaucoup de liège et résistante au feu. La faune des savanes comprend beaucoup de grands herbivores qui vivent en troupeaux surtout en Afrique (antilope, gazelle, zèbre, girafe, éléphant) et des carnivores (lion, léopard, guépard).

Des oiseaux coureurs (autruche en Afrique, le nandou en Amérique et l'Emeu en Australie) et des insectes (faune africaine de ces insectes est la plus riche du monde), termites, blattes. Sur

les images ci-dessous (Figure 16 et 17), nous montrons quelques photos correspondant aux savanes



Figure 16. Savanes du Parc National de Tarangire (Tanzanie) où on observe un troupeau de Zèbre



Figure 17: Savane du Parc National de la Ruvubu où se voit un troupeau de Buffles (Masharabu, 2011)

4.1.3.7. Les déserts

34% de la surface des terres émergées sont des déserts ou des semi-déserts dans lesquels 1/5 de la population mondiale essaie de survivre. Dans beaucoup de régions, les déserts s'étendent sous l'action combinée de processus naturels et des activités humaines. L'Europe est le seul continent dépourvu de déserts, bien que le sud de l'Espagne soit déjà une zone aride où la pluviosité est inférieure à 200 mm/an. On estime que 810 millions d'ha ont été désertifiés depuis 50 ans. On appelle déserts ou zones arides les régions où la pluviosité annuelle moyenne est inférieure à 100 mm et très irrégulière (Sahara, périodes de 8 ans sans pluie). Les températures varient de +50°C à -30°C. Il existe différentes classification des déserts en fonction soit de la pluviosité, soit de la température et du rapport entre pluviosité et évapotranspiration, soit de la température. La végétation des déserts est rare, elle se présente le plus souvent sous la forme contractée, c'est-à-dire localisée dans les dépressions ou les

rare zones favorables (**Figure 18**). On va trouver des arbustes, des plantes succulentes : principales familles, Chénopodiacées, Astéracées, Brassicacées. Les mammifères sont bien représentés au Sahara (130 espèces), antilopes, chameaux et beaucoup de rongeurs (gerboises, gerbilles). Beaucoup mènent une vie souterraine. Beaucoup d'insectes et de reptiles, des scorpions.



Figure 18. Exemples de déserts

4.1.3.8. La toundra

La toundra est la zone de végétation située au delà de la limite naturelle des arbres. Cette limite passe à peu près, dans l'hémisphère nord, au niveau du cercle arctique. Le climat est caractérisé par une période sans gelée inférieure à 3 mois et la moyenne du mois le plus chaud est inférieure à 10°C. Précipitations faibles, < 250 mm/an. La végétation du sud de la toundra à la limite des forêts comprend des arbrisseaux nains (*Betula nana* et diverses *Ericacées*) mêlés de tourbières à sphaignes. Plus au nord, apparaissent des pelouses et des tourbières à *Carex* et *Eriophorum*, puis des tapis de Bryophytes et de lichens qui subsistent seuls dans la partie la plus septentrionale. Les conditions thermiques particulières expliquent que la croissance des plantes soit très lente et leur longévité très grande (thalles de certains lichens pluri centenaires). Les mammifères de la toundra comprennent des Ongulés (renne, élan, mouflon, caribou), des carnivores (ours brun et blanc, loup, loutre, vison, lynx), des rongeurs (marmotte, castor). Les oiseaux, hiboux des neiges et des lagopèdes.

4.1.3.9. Les biomes azonaux

Les prairies et broussailles des montagnes sont situées au dessus de la limite des arbres.

4.2. LES SUBDIVISIONS FLORISTIQUES DU MONDE

4.2.1. Empires et régions floristique du monde

L'histoire de la reconnaissance de régions biogéographiques date du début du 19^{ème} siècle. Von Humboldt, De Candolle, Wallace, Darwin, Hooker sont autant de noms de biogéographes prestigieux qui ont tenté de comprendre l'organisation des biomes terrestres. De nombreuses tentatives ont été réalisées pour diviser la surface de la Terre en grandes régions biogéographiques.

Ainsi la flore du monde a été subdivisée en trois grands ensembles correspondant aux :

- Régions tempérées et froides de l'Hémisphère Nord,
- Régions correspondant aux pays intertropicaux
- Régions tempérées et froides de l'hémisphère sud.

Ceci compte tenu de l'importance de la température dans la répartition des êtres vivants.

Il s'agissait de dégager des modes d'organisation spatiale de la diversité biologique sur la base de la distribution actuelle et des connaissances historiques concernant la mise en place des flores et des faunes. L'exercice de typologie qui consiste à identifier les zones biogéographiques ne se limite pas bien entendu aux six empires déjà soulignés (**Figure 19**).

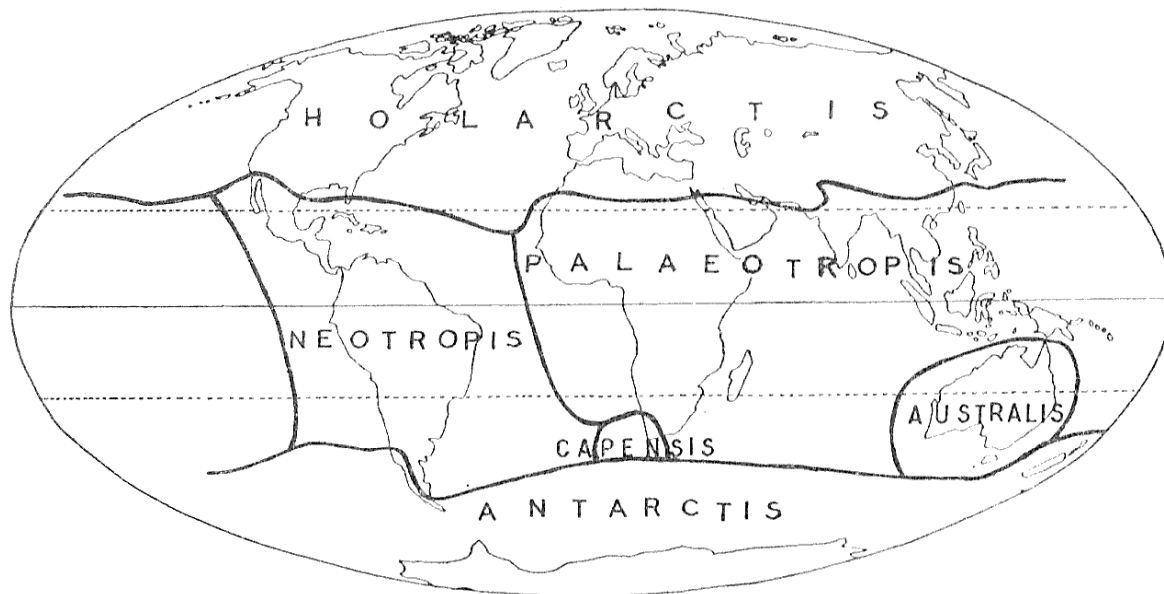


Figure 19: Les six régions floristiques du monde (Ozenda, 1964)

Dans chacune d'entre elles, on peut distinguer des sous ensembles, en fonction du degré de précision que l'on recherche.

Plus tard, Takhtajan (1986) a défini un système phytogéographique fondé sur la base de l'endémisme et a permis de redéfinir six empires floraux au niveau du globe terrestre. L'unité supérieure de la végétation est l'empire caractérisé par un endémisme marqué de familles. L'unité inférieure à l'empire est la région. A ce niveau 35 régions sont connues à l'échelle

mondiale (**Figure 20**). La région est à son tour subdivisée en domaines ou provinces caractérisés par un grand nombre d'espèces endémiques. Les provinces à leur tour sont subdivisées en districts caractérisés par un endémisme des taxons inférieurs à l'espèce. On ne dispose pas cependant d'assez de publications ayant utilisé ce système, à part les travaux de Cox (2001) sur la révision des régions biogéographiques de Takhtajan (1986) et ceux de Feuerer & Hawksworth (2007) sur les lichens.

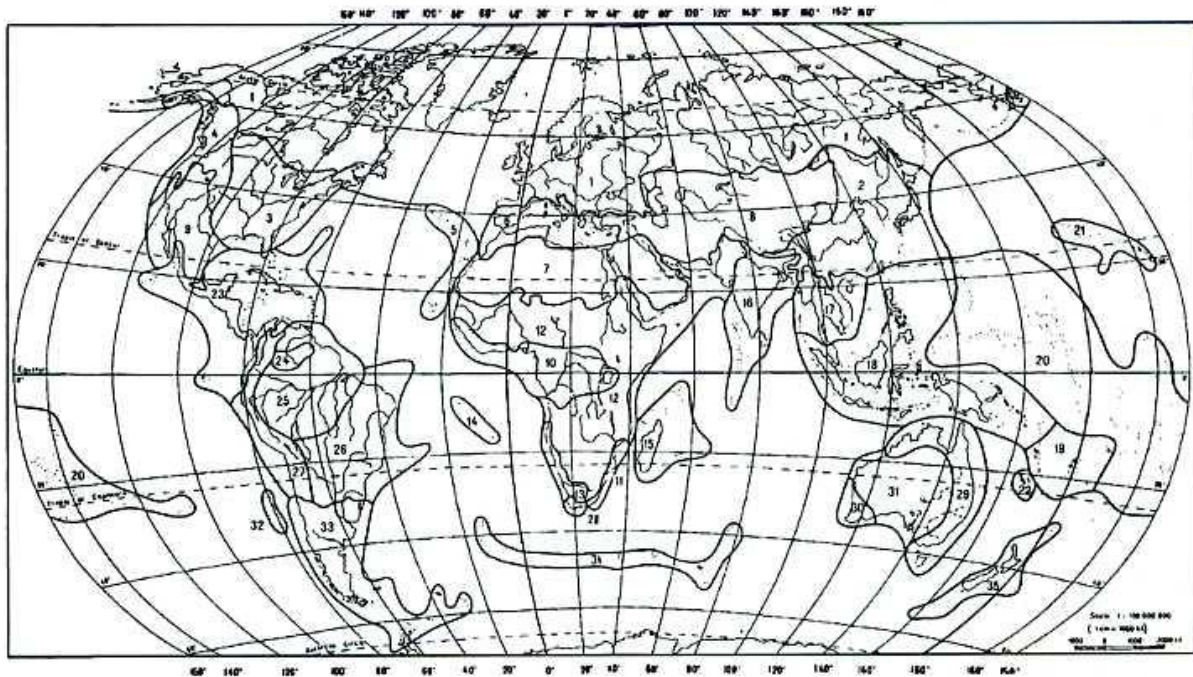


Figure 20 Les régions floristiques du monde selon Takhtajan (1986). (1) Région Circumboréale, (2) Région Asiatique Est, (3) Région Atlantique Nord Américaine, (4) Région de Montagne rocheuse, (5) Région Macaronésienne, (6) Région Méditerranéenne, (7) Région Saharo-Arabique, (8) Région Irano-Turanienne, (9) Région Madrean, (10) Région Guinéo-Congolaise, (11) Région Uzambara-Zululand, (12) Région Soudano-Zambézienne, (13) Région du Karoo-Namib, (14) Région St Hélène et Ascension, (15) Région Malgache, (16) Région Indienne, (17) Région d'Indochine, (18) Région Malaisienne, (19) Région du Fiji, (20) Région polynésienne, (21) Région Hawaïenne, (22) Région de la Nouvelle Calédonie, (23) Région Caraïbienne, (24) Région des Hautes Terres Guyanaises, (25) Région Amazonienne, (26) Région brésilienne, (27) Région des Andes, (28) Région du Cap, (29) Région Nord Australienne, (30) Région Sud-Ouest Australienne, (31) Région Centro- australenne ou Erema, (32) Région de Fernandez, (33) Région Chilo-Patagonienne, (34) Région du Sud des îles subatlantiques, et (35) Région de la Nouvelle Zélande.

Le Tableau 2 ci-dessous donne les principaux critères utilisés et l'échelle spatiale correspondant à chaque territoire.

Tableau 2 : Hiérarchisation des Territoires et principales caractéristiques

Hiérarchie des territoires (floristiques ou faunistiques)	Caractéristiques	Localisation approximative (continent ou blocs de continents)
Empire	Endémisme au niveau supérieur (Ordre Famille...)	Holarctique
		Néotropical
		Africano-malgache (ou Paléotropical)
		Asiatico-pacifique
		Antarctico-australien
Région	Endémisme niveau Famille ou Genre	
Domaine	Endémisme niveau Genre	
Secteur	Endémisme niveau Espèce	
District	Endémisme niveau sous-espèce	

4.2.2. ELEMENT ET SPECTRE PHYTOGEOGRAPHIQUE

Au sein d'un inventaire floristique d'une région ou d'un pays, on distingue généralement les catégories phytogéographiques ci-après :

- Eléments de base : Ensemble des espèces caractéristiques d'une région ne transgressant pas ses limites.
- Eléments étrangers : Ce sont des groupes d'espèces appartenant aux éléments de bases d'autres régions notamment limitrophes.
- Eléments de liaison : Plantes répandues plus largement dans les régions avoisinantes.
-

Le spectre phytogéographique est l'ensemble d'éléments phytogéographiques constituant la flore d'un territoire phytogéographique quelconque ou d'une association végétale, chacun des éléments et sont représenté par un nombre de taxon exprimé en pourcentage (**Tableau 3**).

Tableau 3. Exemple de calcul du spectre phytogéographique

Eléments phytogéographiques	Nombre de taxons	%
Elément afron-alpin	52	19
Elément afron-montagnard	35	13
Elément sud-africain	17	6
Elément du cap	10	4
Elément tempéré austral	11	4
Elément méditerranéen	18	6
Himalaya	5	2
Tempéré	87	31
Tempéré boréal	43	15
TOTAL	287	100

Les expressions suivantes sont aussi utilisées pour le spectre phytogéographique et sont indiquées pour chaque espèce. Il s'agit de :

- Afrotrop : Afrotropical
- Cos : Cosmopolite
- End : Endémique
- E.A : Est-Africaine
- G : Guinéen ou G.C/Guinéo-congolaise
- Pal : Paléotropical
- Pluri : Plurirégional
- Sz : Soudano-Zambézien
- Z : Zambézien
- SZ (O) : Espèce Soudano-Zambézienne à dominance orientale
- SZ (EOZ) : Espèce Soudano-Zambézienne à dominance éthiopienne orientale
Zambézienne
- SZ (OZ) : Espèce soudano-Zambézienne à dominance orientale Zambézienne
- SZ (EZ) : Espèce soudano-Zambézienne à dominance éthiopienne Zambézienne
- SZ (SOZ) : Espèce soudano-Zambézienne à dominance soudanienne orientale et
Zambézienne
- Mont : Montagnarde
- Mont E A : Montagnard Est-africaine
- L.S- (Z-G) : Espèces de liaison entre le soudano-Zambézien et le Guinéo-congolaise

4.2.3. Les territoires phytogéographiques de l'Afrique

Malgré les progrès significatifs de la méthodologie en phytogéographie, on ne dispose pas d'un seul système phytogéographique à l'échelle de l'Afrique qui puisse expliquer les différentes répartitions spatiales des espèces. L'évolution des recherches phytogéographiques en Afrique a été documentée par :

- Werger en 1978 dans son étude biogéographique de l'Afrique du Sud,

- Lebrun (1981) dans son étude sur les bases floristiques des grandes divisions de l'Afrique,
- et par Ib Friis (1986) sur la phytogéographie de la région éthiopienne.

La carte d'Engler (1910) fut la première à couvrir toute l'Afrique divisée en quatre régions :

- la grande forêt représentant la région de la forêt ouest africaine,
- les savanes appartiennent à la région des savanes arabo-africaines ;
- les régions tempérées de la Méditerranée et du Cap,
- et enfin l'Île isolée de Madagascar forme une entité phytogéographique toujours reconnue comme les régions malgaches.

Cette division basée sur les types de végétation peut être constituée comme la base de la phytogéographie africaine. La région africaine des forêts et des steppes correspond à l'Afrique tropicale. Les études approfondies de leurs territoires phytogéographiques du moins africains ont amené à la réalisation de nombreuses cartes de plus en plus croissantes et établies suivant des concepts à la fois pytosociologique, climatique et historique. Grâce à l'acquisition de nouvelles données, des progrès scientifiques ont été marquées. C'est notamment la reconnaissance des forêts de montagnes différentes de la grande forêt équatoriale et sur la délimitation entre les forêts et les savanes.

D'autres auteurs ont étudié la phytogéographie africaine notamment :

1. Lebrun (1947) a réalisé un travail phytosociologique sur la plaine des Rwindi-Rutshuru et a fait une analyse statistique de sa flore. Il a ensuite traité des principaux territoires phytogéographiques de l'Afrique toute entière. Son travail était basé sur l'idée d'Engler et distinguant ainsi les savanes et les forêts, créant par la suite la région guinéenne et la région soudano-zambézienne. Il sépara aussi les régions méditerranéennes et du cap, qui forment chacune une région (Voir Figure...). Dans cette classification, la région montagnarde africaine n'est pas individualisée. Elle est placée dans la région guinéenne et soudano-zambézienne.
2. Germain (1952) a étudié le cadre chorologique de la plaine de la Ruzizi en intégrant le système de classification proposé par Lebrun (1947) et Robyns (1937, 1948).
3. Mullenders (1954) a divisé l'ensemble du territoire de la RDC en petites régions naturelles sans donner les limites ;
4. Hauman (1955) a créé la région afro-alpine groupant les formations de hautes montagnes africaines.
5. Le congrès de Yangambi (1956) a abouti grâce à la mise au point de la nomenclature de la végétation à une entente entre les phytogéographes et à la publication d'une carte phytogéographique détaillée par Monod (1957). Après cette période, nous avons observés une série de publication toujours sur la phytogéographie de l'Afrique entière ou une partie de l'Afrique. Les plus importantes sont les travaux de :

- Devred (1957) a précisé la limite phytogéographique Occidento-Méridionale de la Région Guinéo-Congolaise au Kwango après une mission pédobotanique ; Liben (1958) a esquissé la limite phytogéographique Guinéo-Congolaise/Zambézienne au Shaba occidental ; Evrard (1965) s'est intéressé au secteur forestier central de la RDC en établissant une statistique phytogéographique. White (1965) divise l'Afrique en 8 régions dont la région afro-alpine et la région afro-montagnarde. Troupin (1966) reconnaît la région afro-alpine et la région littorale intertropicale. Il délimite dans la région guinéo-congolaise un domaine post-forestier bordant la grande forêt au Nord et au Sud.

- White (1978) abandonne le terme de régions et introduit de nouveaux termes : le centre régional d'endémisme ou en anglais « regional center of endemism), centre morcelé d'endémisme, mosaïque régionale et zone de transition régionale. Avec cette dénomination, il prône ainsi un système phytogéographique non hiérarchisée et met en relief l'importance de centre d'endémisme.

- Bamps (1982) a repris la carte proposée par Robyns (1948) en tenant compte des nouvelles limites territoriales et des graphies. Les limites des territoires phytogéographiques, de même que leur dénomination, restent inchangées et seuls ont été mentionnés les localités, les lacs et les cours d'eau les plus importants. En conclusion, on peut dire que la personne ayant le plus marqué les connaissances phytogéographiques actuelles de l'Afrique est Franck White (1927-1994). Après plusieurs publications préliminaires (White, 1965, 1978, 1979), il a publié la carte de la végétation de l'Afrique accompagnée d'un mémoire explicatif (White, 1983). En raison de son succès, ce dernier sera également traduit en français trois ans plus tard par Bamps (White, 1986).

Dans ce cours, nous maintiendrons le système phytogéographique de White (1979, 1983), qui d'ailleurs est souvent utilisé dans la plupart des travaux de certains biogéographes **dont Denys (1980), Linder et al. (2005), Koffi (2008), Ndayishimiye et al. (2010)**. Par ailleurs, la carte phytogéographique produite par White (1983) a récemment servi de base au WWF pour délimiter les écorégions d'Afrique dans une étude faite à l'échelle mondiale (**Olson et al., 2001**). *Celles-ci sont des aires relativement vastes, délimitées pour refléter les limites des communautés animales et végétales dans leur habitat naturel (Olson et al., 2001)*. Le modèle phytogéographique de White (1983, **Figure 20**), distingue au niveau de l'Afrique, 20 centres régionaux d'endémismes et centre de transition.

En conclusion, toutes ces tentatives de divisions phytogéographiques permettent de déceler quelques coïncidences avec le système phytogéographique de l'Afrique défini par White. Néanmoins des différences persistent au niveau de ce que White a appelé les zones de transition (**Tableau 4**).

Tableau 4. Comparaison des subdivisions floristiques de l’Afrique selon White (1979) et White (1983)

White (1979)	White (1983)
Guineo-Congolian Region Guinea-Congolia/Sudania Transition Zone	Centre régional d’endémisme guinéo-congolais. Zone de transition régionale guinéo-congolaise/soudanienne
Lake Victoria Regional Mosaic Guinea-Congolia/Zambezia Transition Zone	Mosaïque régionale du Lac Victoria Zone de transition régionale guinéo-congolaise/zambézienne
Sudanian Region Zambezian Region Zanzibar-Inhambane Regional Mosaic	Centre régional d’endémisme soudanien Centre régional d’endémisme zambézien Mosaïque régionale de Zanzibar-Inhambane.
Tongaland-Pondoland Regional Mosaic	Mosaïque régionale du Tongaland-Pondoland.
Afromontane Region (only large massifs are shown)	Centre régional d’endémisme morcelé afromontagnard, incluant IX, la région morcelée afroalpine d’appauvrissement floristique
Somalia-Masai Region	Centre régional d’endémisme de la Somalie et du pays Masai
Kalahari-Highveld Transition Zone Karoo-Namib Region	Zone de transition régionale Kalahari-Highveld Centre régional d’endémisme du Karoo-Namib
Cape Region Sahel Transition Zone	Centre régional du Cap Zone de transition régionale du Sahel. Centre régional d’endémisme méditerranéen Zone de transition régionale du Sahara Zone de transition régionale méditerranéo-saharienne Centre régional d’endémisme malgache oriental Centre régional d’endémisme malgache occidental.

4.2.4. Caractéristiques et Subdivisions floristiques de l’Afrique selon White (1983).

Dans cette partie, nous présentons les limites de chaque territoire et les principales familles qui sont rencontrées dans chaque territoire. Un accent particulier sera mis sur les territoires qui bordent la région du Burundi, de la RDCongo et du Rwanda (Figure 21).

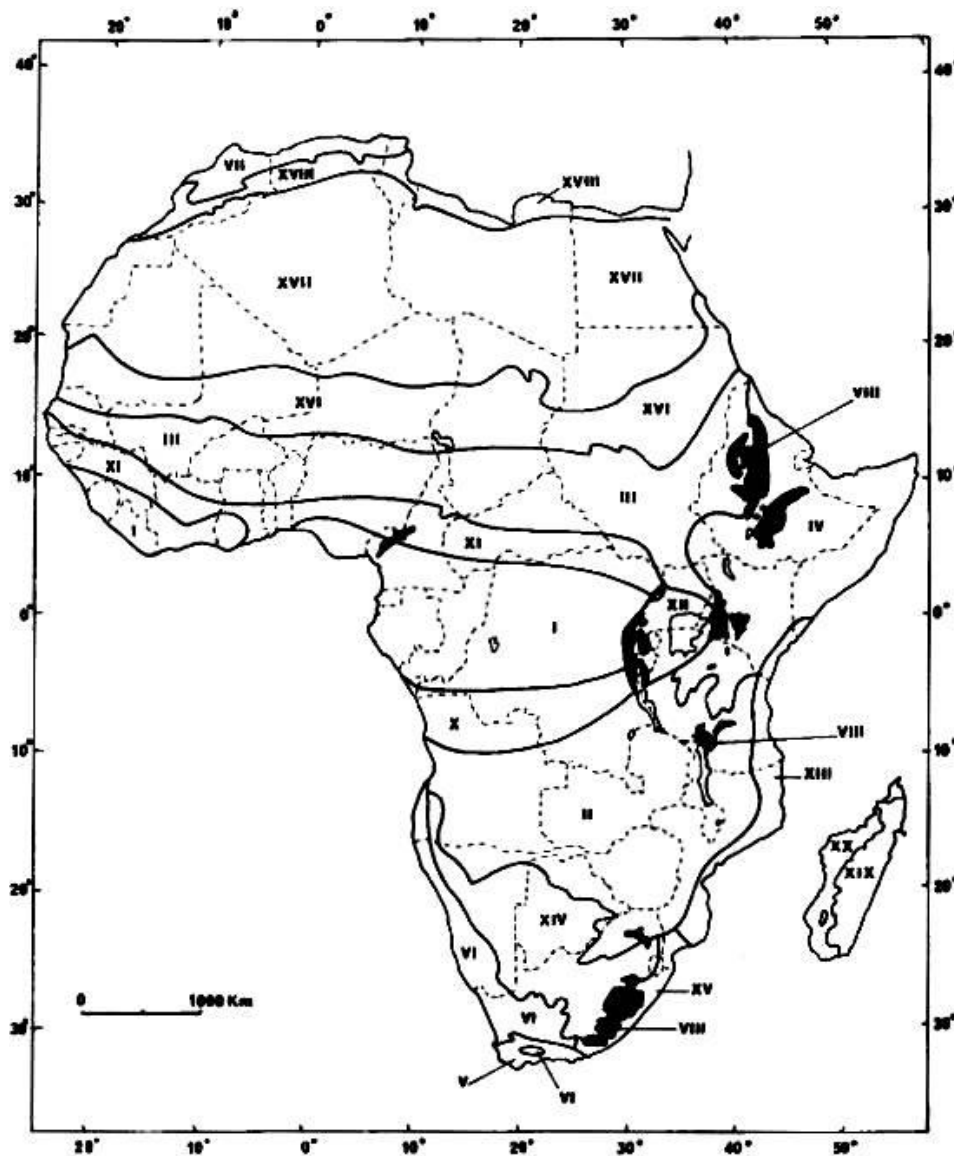


Figure 21 : Principales phytochories de l’Afrique et de Madagascar (White, 1983, 1986). (I) Centre régional d’endémisme Guinéo-Congolais, (II) Centre régional d’endémisme Zambézien, (III) Centre régional d’endémisme Soudanien, (IV) Centre régional d’endémisme de la Somalie et du pays Masai, (V) Centre régional d’endémisme Méditerranéen, (VIII) Centre régional d’endémisme morcelé Afromontagnard, incluant IX, la région morcelée afroalpine d’appauvrissement floristique extrême (non figuré séparément), (X) Zone de transition régionale Guinéo-Congolaise/Zambézienne, (XI) Zone de transition régionale Guinéo-Congolaise/Soudanienne, (XII) Mosaïque régionale du lac Victoria, (XIII) Mosaïque régionale de Zanzibar-Inhambane, (XIV) Zone de transition régionale Kalahari-Highveid, (XV) Mosaïque régionale du Tongaland-Pondoland, (XVI) Zone de transition régionale du Sahel, (XVII) Zone de transition régionale du Sahara, (XVIII) Zone de transition régionale Méditerranéo-Saharienne, (XIX) Centre régional d’endémisme Malgache Oriental, (XX) Centre régional d’endémisme Malgache Occidental (White, 1983).

4.2.4.1. Centre régional d’endémisme Guinéo-congolais

Il correspond à la région guinéenne de Lebrun (1947). Le climat est de type équatorial chaud et humide, T° myenne supérieure à 28°C , Précipitations sont supérieures à 1600 mm/an, saison sèche de 0 à 3 mois. La végétation correspond à une forêt dense équatoriale. Les familles les plus représentées sont les Rubiaceae, Apocynaceae, Annonaceae, etc.

4.2.4.2. Centre régional d'endémisme Zambézien

Il correspond au domaine zambézien de la région soudano-zambézienne de Lebrun (1947). La végétation est steppique et porte le nom de « Dembo », forêt claire (Miombo). Le climat tropical à saison sèche de 3 à 6 mois, les précipitations supérieures à 1000m par an. On observe une dominance des Caesalpinioideae dont les espèces de *Brachystegia*, *Julbernardia* et des Poaceae dont *Hyparrhenia*.

4.2.4.3. Centre régional d'endémisme morcelé afro-montagnard incluant la (4.2.9.) qui est la région morcelée afroalpine d'appauvrissement floristique

Il correspond à la région montagnarde de Toupin (1966). Le climat tempéré à froid parfois jusqu'à 3° à 0° C. On observe une végétation étagée à *Hagenia*, Bambous, et des prairies à *Senecio*.

4.2.4.4. Zone de transition régionale guinéo-congolaise-Zambézienne.

C'est une étroite bande depuis l'extrême Nord de l'Angola en passant par le Nord du Katanga jusqu'au Lac Tanganyika. On y observe une forêt à *Isobertinia*.

4.2.4.5. Zone de transition régionale Guinéo-congolaise-Soudanienne

Il correspond au domaine Soudaneo-Guinéen de Troupin. On y observe une végétation steppique. La flore est très riche en Aloes, *Sansevieria*, les *Acacia*, etc.....

4.2.4.6. La Mosaique régionale du Lac Victoria

Il correspond au domaine oriental de la région soudano-zambézienne et la partie ougandaise de la région guinéo-congolaise. La végétation est constituée de forêt sclérophylle et les savanes boisées. La flore est dominée par les *Acacia*, *Strychnos* et *Euphorbia candelabrum*.

4.2.5. Subdivisions de l'Afrique selon Troupin (1966).

Nous allons passer en revue chaque région phytogéographique en insistant sur les caractéristiques floristiques.



Figure 22. Divisions phytogéographiques de l'Afrique selon Troupin (1966)

I. Région Méditerranéenne : I(a). Sous-région afro-méditerranéenne, I (b). Sous-région saharo-sindienne. **II. Région Saharo-Sahélienne** : II(a)- Domaine saharo-africain, II(b)- Domaine sahéro-éthiopien. **III. Région Soudano-Zambésienne** : III(a)-Domaine soudanais, III(a)1. Sous-domaine septentrional, III(a)2. Sous-domaine méridional. III (b). Domaine soudano-guinéen, III (b)1. Sous-domaine septentrional, III(b)2. Sous-domaine méridional. III (c). Domaine Oriental. III (d). Domaine éthiopien. III (e)Domaine zambésien : III (e)1. Sous-domaine Katango-rhodésien, III (e)2. Sous-domaine angolo-zambésien. III (f) Domaine austral. III(g). Domaine du Kalahari. **IV. Région Guinéo-Congolaise** : IV(a). Domaine forestier, IV(b). Domaine postforestier, IV(c). Domaine côtier oriental. **V. Région du Karroo-Namib** : V(a) Domaine du Karroo, V(b). Domaine du Namaqualand, V(c). Domaine du Namib. **VI. Région du Cap**, **VII. Région montagnarde africaine** (en noir sur la carte), **VIII. Région littorale intertropicale** : VIII (a). Domaine atlantique, VIII (b). Domaine asiatique. **IX. Région Malgache**.

4.2.5.1. Région méditerranéenne

Elle se localise au nord de l'Afrique à la limite sud allant de l'Ouest approximativement depuis la frontière de la Mauritanie vers la latitude 20° Nord et remonte vers 25ème degré de latitude Nord à travers l'Afrique et rejoint la mer rouge à l'Est vers le 27ème degré Nord. Cette région comprend 2 sous-régions :

a) Sous-région afro-méditerranéenne

Le climat est méditerranéen avec des étés secs et chauds, les hivers sont pluvieux et généralement doux. La végétation qui domine dans cette zone est constituée de forêts de conifères (pins) et des groupements xérophytiques. Cette sous-région est caractérisée aussi par plusieurs milliers d'espèces et de genres endémiques.

b) Sous-région Saharo-Sindienne

Elle est située au sud de la précédente. Elle connaît un climat de sécheresse extrême de l'air. L'évaporation est intense avec de faible précipitation. Les températures diurnes sont plus élevées. La végétations clairsemée parfois absente sur de vastes étendues et se divise par une extrême pauvreté en espèce floristique. Cette sous-région n'est caractérisée d'aucunes Familles ou tribu endémique. Par contre, l'endémisme spécifique est très élevé. Les thérophytes prédominent et l'influence floristique méditerranéenne est très marquée.

4.2.5.2. Région Saharo-Sahérienne

Elle se trouve au sud de la région méditerranéenne. En effet, elle s'étend de l'océan indien jusqu'à la mer rouge au Nord de l'Erythrée et descend vers le sud-ouest, longe plus ou moins la côte de l'océan Indien en Somalie remonte vers le Nord-ouest pour englober une partie du Kenya. La région comprend les domaines suivants :

a) Domaine Saharo-Africain

Le climat est similaire à celui de la sous-région Saharo-sindienne sauf que les gelées sont accidentelles et que la moyenne du mois le plus froid est d'environ 13°C. La végétation est très clairsemée avec une flore très riche. Il faut noter la prédominance des Phanérophytes et Chaméphytes sur les thérophytes. Les irradiations de la flore méditerranéenne sont rares tandis que la flore du Sahel, territoire à caractère tropical situé au sud se manifeste par de nombreuses pénétrations.

b) Domaine Sahélo-éthiopien

Climatiquement, ce domaine est caractérisé par une précipitation annuelle de 150 à 1500 mm d'eau avec 9 à 10 mois de saison sèche extrêmement aride dans la partie septentrionale, la végétation est constituée de steppes buissonnantes avec des arbres dispersés, des steppes à épineux avec *Acacia* ; *Commiphora* largement dispersée et rassemble en bosquets sur de grands espaces. Dans la partie méridionale, les steppes à épineux sont plus développés. A la saison de pluie, les herbes ne recouvrent pas le sol de façon continue.

4.2.5.3. Région Soudano-Zambézienne

Elle se localise à la Mauritanie méridionale et au Sénégal et va jusqu'en Ethiopie et de l'Ethiopie en Angola et en Afrique du sud. Le climat y est très varié et de type tropical avec 500 à plus de 1500 mm d'eau par an. La saison sèche est de 4 à 7 mois. La végétation est constituée de steppe de savane et de divers de forêts humides ou semi-humides. Cette région comprend 5 domaines :

a) Domaines soudanais

Elle est située près du domaine Sahélo-soudanais depuis la côte de l'océan atlantique entre le 15^{ème} et 18^{ème} degré de latitude Nord jusqu'au 33^{ème} degré de longitude Est soit approximativement le long du Nil. Depuis la frontière Nord de l'Ouganda jusqu'au 15^{ème} degré de latitude Nord. Le climat est tropical sec, avec une précipitation atteignant 1200 mm par an. L'année comprend 6 à 8 mois de saison sèche.

Le domaine comprend 2 types de végétation :

- Au nord, ce sont les steppes buissonnantes et arbustives avec *Acacia* et *Commiphora* qui sont abondantes.
- Au sud prédominent les forêts et savanes sèches à *Balanites aegyptiaca*, le genre *Terminalia montali*.

Plus au sud apparaissent quelques espèces du climat subtropical avec de larges feuilles telle que *Isobertia*.

b) Domaine Soudano-guinéen

Il prolonge le précédent vers le sud, s'étend depuis le Sénégal et la Gambie jusqu'à la frontière de l'Ouganda et du Zaïre à l'Est. Une interruption se manifeste à la hauteur de Ghana et du Togo, le climat est du type tropical semi-humide avec de précipitation variant entre 950 et 1750 mm. On connaît une période de saison sèche de 4 à 5 mois.

On y rencontre 2 types de végétation :

- La bande septentrionale constituée de forêt sèche tropicale à *Isobertia*, *Uapaca*, ...
- Au sud prédomine les forêts claires et savanes diverses à l'extrémité orientale. Quelques arbres et arbustes post-forestière Guinéo-Congolaise pénètrent dans cette zone méridionale.
- La strate graminéenne est composée de quelques arbres atteignant 3 à 4 m de haut et appartenant aux genres *Loudetia* et *Hyparrhenia*. Divers auteurs ont essayé de caractériser ce domaine par des galeries forestières qui sillonnent les étendues déboisées. Pourtant ces galeries sont des irradiations de forêt dense ombrophile qui, le long de rivière peuvent se propager aussi bien au delà de ces limites normales. La zone de végétation envisagée correspond aux stations où l'action des eaux de surface peut dans les vallées contrebalancer le déficit hydrique dû au climat sec lequel est lui-même fonction de la longueur du caractère accusé de la saison sèche.

C) Domaine oriental

Il comprend l'Ituri (Nord-est du Congo); les plaines basses de Kivu, le RWANDA central et oriental, le Burundi septentrional, occidental et central, la majeure partie de l'Ouganda, le Kenya occidental et la Tanzanie orientale. Les zones à exclure sont : les zones montagneuses,

la bande forestière et littorale de l'Océan Indien et quelques irradiations guinéo-congolaises, lesquelles atteignent le lac Victoria à l'Est. Le climat est de type tropical sec. La saison sèche dure 3 à 5 mois. La végétation se présente sous 3 aspects différents :

- Forêt xérophile souvent réduite à des bosquets relictuels,
- Savane diversement boisée à *Acacia*, *Euphorbia candelabrum*,
- Présence de steppes boisées. Les graminées comme *Hyparrhenia* et diverses espèces de *Loudetia simplex* sont à noter. L'endémisme spécifique est très marqué.

d) Domaine Ethiopien

Il est situé en Ethiopie et dans les territoires limitrophes à l'exception des zones subdésertiques littorales et montagnardes. Le climat est semblable à celui du domaine précédent. Les précipitations s'évaluent autour de 800 et 1500 mm d'eau par an. La végétation est formée de forêt claire et de savane boisée ainsi que les savanes herbeuses à *Themeda triandra*, *Hyparrhenia* div. Sp. Dans les forêts claires, les graminées présentes sont le *Panicum*, le *Pennisetum*, ...

e) Domaine Zambésien

Il est situé (e) la région guinéo-congolaise et la région du cap et du Karroo-Namibie et comprend l'Angola, le Shaba, le Burundi méridional, le Zimbabwe, la Tanzanie et le Mozambique. Ce domaine connaît un climat tropical sec avec des précipitations annuelles de 8 à 10 mois. La végétation est représentée par des forêts à *Brachystegia* dans les zones humides, *Julberrardia* dans les zones plus sèches. Les savanes boisées à *Acacia* et *Combretum*, *Terminalia*, *Monotes*. Ces formes se rencontrent dans le sous domaine Katango-Rhodésien dont fait partie le Burundi. Les formations végétales qu'on rencontre dans le domaine Zambésien sont les forêts sèches, les Savanes à *Acacia*, *Terminalia*, *Combretum*, *Digitaria*, *Baobab*, s'établissant dans des endroits plus secs.

f) Domaine austral.

Elle est située à l'Est de l'Afrique du Sud c'est-à-dire le Transval méridional, Basutoland, une partie du Swaziland et du Natal. Il est bordé à l'Est par une frange appartenant au domaine Zambésien qui pénètre ce territoire.

Le climat est représenté par des précipitations comprises entre 500 et 900 mm d'eau par an, par des pluies printanières et estivales, les hivers sont longs, secs et froids. La végétation est constituée par des savanes herbeuses parmi lesquelles on reconnaît 3 types :

- Les savanes à grandes herbes avec *Hyparrhenia hirta* qui domine et forme un tapis dense et uniforme
- Savane à *Themeda triandra* constituant une savane à petite herbes dans les endroits dont l'indice de pluviosité est de 500 à 700 mm/an. Cette savane occupe les plateaux.
- Les savanes mélangées occupant les formations géologiques caractérisées par la présence de grandes et petites graminées.

g) Domaine Kalahari

Il occupe une grande partie de l'Afrique du Sud-ouest, le climat est très sec avec 350 à 500 mm d'eau/an. La végétation est constituée par des steppes herbeuses ou boisées dans les zones sèches à Acacia. Les savanes sont arbustives dans les zones xériques.

4.2.5.4. Région guinéo-congolaise

Elle occupe toute la zone de la forêt ombrophile de basses et moyenne altitude de même que les zones de savanes de substitution. Elle s'étend depuis la Guinée jusqu'au bassin du Zaïre avec une connexion au lac Victoria (Ouganda) sous-formes de bandes étroites. Il est rattaché à la bande forestière située le long du littoral de l'océan indien depuis l'équateur jusqu'aux environs du cap avec cependant une interruption entre le 10ème et 25ème degré de latitude sud. Cette bande forestière présente beaucoup d'affinités floristiques avec la grande forêt ombrophile équatoriale.

Le climat est caractérisé par une humidité de l'air persistante et élevée, une pluviosité bien répartie au cours de l'année et généralement > à 1500 mm/an. La température est élevée mais sans différences accusée avec les extrêmes. C'est le climat équatorial typique dont les caractéristiques s'atténuent progressivement vers le Nord et vers le Sud devenant subéquatoriales avec l'apparition d'une courte saison ne dépassant pas 3 mois. La végétation est celle de forêt dense, sempervirentes avec tapis herbacé. Au-delà, les forêts réduites à des lambeaux ou galeries forestières plus ou moins étendues le long des rivières constituent des séries d'évolution régressive soit d'origine anthropique soit d'origine édaphique.

a) Domaine forestier

Après leur destruction, ces forêts sont remplacées par des jachères et de recrus ou par des savanes temporaires à *Pennisetum purperum* ou à *Panicum*. La végétation est de forêt dense ombrophile, avec beaucoup de légumineuses. Dans ce domaine, il existe 2 massifs importants : les massifs Gabono-congolais et les massifs Ouest-africain. Les massifs Gabono-congolais sont floristiquement très riches pour 2 principales raisons : la première est sa grande étendue; la première est sa grande étendue ; la 2ème est la raison paléo-climatique avec des conditions climatiques qui sont favorables à la vie végétale.

b) Domaine post-forestier

Il entoure le domaine forestier et produit un climat de forêt mésophile au sein duquel un nombre abondant d'espèce caducifoliées s'installent ainsi que des savanes et des galeries forestières. Ces forêts s'étendent dans une zone péri-équatoriale où les pluies sont interrompues par une saison sèche de courte durée sans provoquer une dessiccation poussée de l'atmosphère.

c) Domaine côtier orientale

C'est une mosaïque de forêt et de savane situées le long de l'océan indien englobant le Kenya, la Tanzanie, le Mozambique et l'Afrique du sud. La végétation est constituée par des forêts denses et humides ainsi que des forêts semi-caducifoliées mêlées à des lambeaux de savanes. Cette forêt montre une grande ressemblance avec le massif forestier Gabonais par des

nombreuses espèces communes. La physionomie des paysages est marquée par la présence des savanes très étendues plus ou moins de savane densément arborescente et entourées de galeries forestières. Ces savanes provenant de la disparition des forêts se maintiennent par l'action de feux de brousse et constitue le pseudo-climax.

4.2.5.5. Région du Karroo-Namib

C'est une bande côtière allant de l'Angola jusqu'au Nord de la région du cap. Le climat y est sec avec des indices pluviométriques annuels < 3500 mm/an. Certaines stations situées le long du littoral ne reçoivent pas de pluies pendant plusieurs années. La végétation est constituée de steppes subdésertiques et encore des déserts. Cette région comprend 3 domaines différents : Domaine du Karroo, Domaine du Namaqualand et du Domaine du Namib.

a) Domaine du Karroo

Le climat est sec avec des précipitations comprises entre 150 et 350 mm/an. La végétation est constituée soit des steppes succulentes, soit des steppes subdésertiques avec des buissons.

b) Domaine du Namaqualand

La végétation est celle des steppes arbustive et buissonneuse et plusieurs espèces d'Acacia. Un phénomène spectaculaire s'observe : des phénophases ainsi que beaucoup de thérophytes forment un tapis de fleurs sur des vastes étendues en saison de pluies.

c) Domaine du Namib

Au niveau du climat, certaines stations sont désertiques avec de faibles pluies qui tombent très irrégulièrement. La végétation est ainsi absente soit très clairsemée et essentiellement à base de graminées. La partie Nord-Est est occupée par le genre *Welwitschia*.

4.2.5.6. Région du Cap.

C'est une bande côtière étroite, limitée à l'extrémité méridionale de l'Afrique dans la province du Cap. Le climat est de type tempéré sec avec des pluies hivernales et des étés très secs. Les précipitations sont comprises entre 750-1250 mm d'eau/an. Les familles les plus représentées sont les *Proteaceae*, *Asteraceae*, *Ericaceae*, etc.... La forêt sempervirente est dominée par les espèces de Podocarpus.

4.2.5.6. Région montagnarde africaine

Ce sont toutes les zones d'Afrique atteignant ou dépassant une altitude de 2000 m. Suivant certaines conditions, cette limite peut être très basse en fonction des conditions locales. Le

climat est de type montagnard avec une augmentation progressive de pluviosité jusqu'à une altitude de 2000 m puis une diminution à partir de cette altitude. L'humidité est relativement élevée à cause de la nébulosité. La température diminue jusqu'à atteindre 0°C à une altitude de 4200 m. Sur un grand nombre de massifs intertropicaux, la végétation se présente par plusieurs étages :

- 2000 à 3200 m : c'est l'étage de forêt ombrophile de montagne à *Hagenia abyssinica* et *Arundinaria alpina*.
- 3200 à 3800 m : C'est l'étage de Bruyères arborescents ou étage subalpin à *Erica*.
- 3800 à 5800 m : C'est l'étage afro-alpin à *Lobelia* et *Senecio*.

4.2.5.7. Région littorale Intertropicale

Elle se situe le long de la côte atlantique et indienne. Ce sont des bandes littorales souvent inondées par les eaux d'océans. Le climat est équatorial-tropical. Cette région est conditionnée par des éléments édaphiques comme la salinité des eaux. La végétation est constituée par le Mangrove et le Maquis littoraux sclérophylle se présentant sous forme de bosquet de forêt de faibles étendues. Cette région comprend 2 domaines :

- Domaine atlantique situé sur la côte occidentale de l'Afrique
- Domaine Asiatique situé sur les îles côté orientale de l'Afrique.

a) Domaine Asiatique

C'est une zone côtière de l'océan indien. La végétation est constituée de Mangrove de type asiatique et comprenant les espèces du genre *Rhizophora* et *Avicenia*.

b) Domaine atlantique

C'est une zone côtière atlantique, la végétation est également de type mangrove.

4.2.5.8. Région malgache

Elle comprend le Madagascar et les îles voisines. La végétation est caractérisée par une endémique générique et spécifique très élevée et est constituée de savane à *Adansonia madagascariensis* à l'Ouest, de forêt dense humides au Nord et à l'Est et enfin de formations sclérophylles au Sud-ouest.

CHAPITRE V. LE SYSTEME PHYTOGEOGRAPHIQUE DU BURUNDI

5.1. LES TRAVAUX DE PHYTOGEOGRAPHIE SUR LE BURUNDI ET LE SYSTEME PHYTOGEOGRAPHIQUE RETENU.

Plusieurs auteurs ont étudié la phytogéographie de l'Afrique. Nous avons déjà cité entre autre Lebrun (1947), White (1965), Troupin (1966), Schnell (1971), Denys (1980), White (1986). Les travaux de Phytogéographie spécifique pour le Burundi sont ceux de Lewalle (1972), (Figure 23B), Lambinon et Sérusiaux (1977), Figure 23A. Plus tard, Ndabaneze (1983) a essayé de confirmer les territoires phytogéographiques du Burundi en utilisant les systèmes existants. Il faut bien noter que tous ces systèmes ont été fondés sur la base de la description physionomique de la végétation du Burundi. Pour Lambinon et Sérusiaux (1977), la végétation du Burundi est distribuée suivant 5 districts à savoir : le district du Bugesera, le district du Burundi central, le district afromontagnard, le district de la Rusizi et enfin le district du Mosso- Malagarazi. Par contre, Lewalle (1972), place la végétation du Burundi en quatre Districts : District du Graben Occidental, District afromontagnard, District du Rwanda-Burundi et le District du Mosso-Malaragarazi.

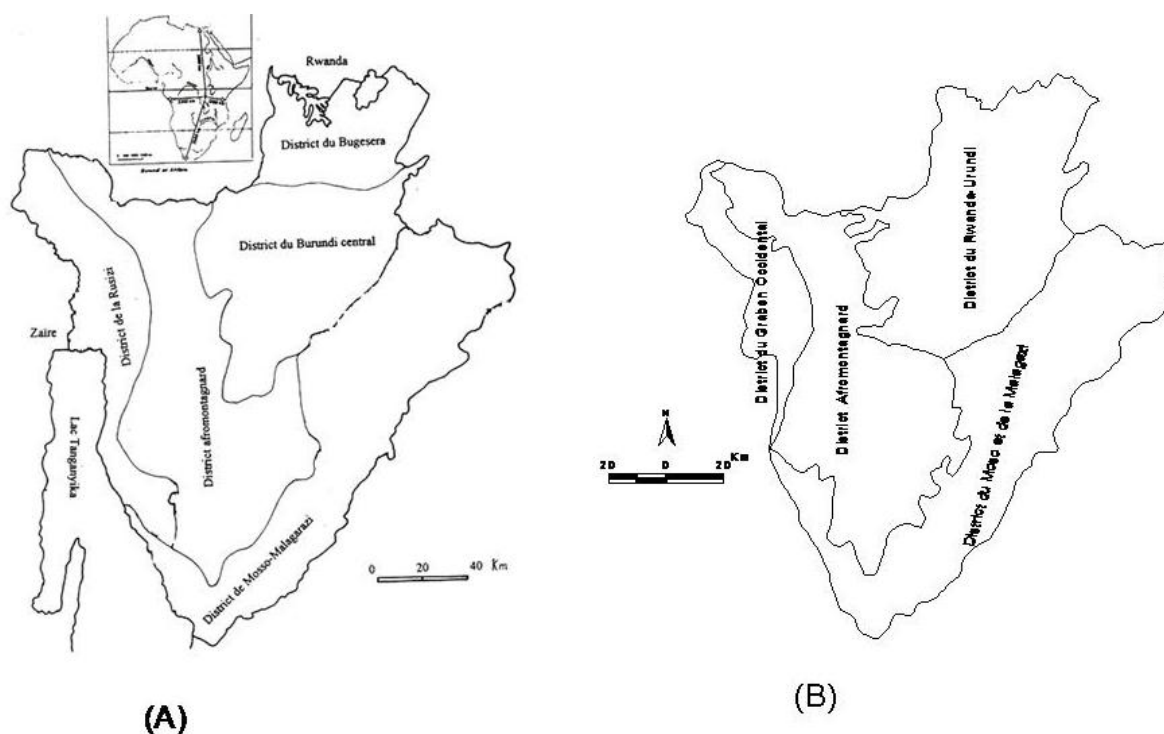


Figure 23. Territoires phytogéographiques du Burundi. (A) Lambinon et Sérusiaux (1977), (B) Lewalle (1972).

En combinant tous ses systèmes, on peut confirmer que le Burundi est au carrefour de deux grandes régions phytogéographiques africaines selon le système de Troupin (1966) : La région des montagnes et la région soudano-zambézienne avec deux domaines dans cette

dernière à savoir le domaine oriental et le domaine Zambézien qui trouvent leur limite au Burundi. D'après Lebrun (1956), le Burundi se situerait alors dans deux domaines phytogéographiques à savoir : le domaine oriental et le domaine zambézien.

- Le domaine oriental

Il regroupe les formations de l'Imbo dans la région de la plaine de la Rusizi et de la plaine côtière du Lac Tanganyika jusqu'au Nord de Rumonge, les formations du Burundi centrale dans la région du plateau central et enfin les formations du Bugesera au Nord-Est du pays.

- Le domaine Zambézien

Il occupe la partie Sud-Ouest partant de Rumonge jusqu'à Nyanza-Lac, remonte ensuite vers le Nord contre la frontière tanzanienne jusqu'à l'extrême Nord du Kumoso-Buyogoma. C'est le domaine des forêts claires du type MIOMBO et de Savane. Le Burundi est ensuite marqué par des influences Guinéo-congolaises avec la formation de la plaine côtière du Lac Tanganyika au Sud de Rumonge à Kirwena et ces hauts sommets qui font parties de la région afro-montagnarde. Cette dernière comprend la forêt ombrophile de montagne abritant une riche diversité biologique dont beaucoup d'espèces endémiques pour le Burundi. De ce qui précède, on peut conclure que la classification des territoires phytogéographiques du Burundi est rendue difficile surtout par la petite taille du pays et la complexité de son relief. En combinant alors tous ces systèmes, on peut admettre que les territoires phytogéographiques du Burundi se répartissent comme suit :

- Région afro-montagnarde
 - ✓ Domaine afro-montagnard
 - District afro-montagnard
- Région soudano-Zambézienne
 - ✓ Domaine oriental
 - District du Graben occidental//District de l'Imbo
 - District du Rwanda-Burundi// Burundi Central
 - District du Bugesera
 - ✓ Domaine Zambézien
 - District de Mosso et de la Malagarazi

Le District du Bugesera ne peut en aucun être inclus dans le District du Rwanda-Burundi. C'est le Système de Lambinon & Sérusiaux qui décrit le mieux la réalité de la répartition de la végétation du Burundi. Cette partie du pays a des similitudes avec la végétation de la plaine de l'Imbo.

5. 2. VEGETATION DES CINQ DISTRICTS PHYTOGEOGRAPHIQUES DU BURUNDI

5.2.1. Le District afro-montagnard

La plupart des espèces qui sont présentes dans ce district correspondent aux espèces de forêt de Montagnes. Ce sont des formations avec des grands arbres comme *Entandrophragma excelsum* de la famille des Meliaceae ; *Newtonia buchananii* (umukererwa) de la Famille des Fabaceae (Mimosaceae).

Les espèces de forêts secondaires sont présentes également dans ces endroits : *Polyscias fulva* (Umwungo), *Chrysophyllum gorungosanum*, *Symphonia globilifera* (Umushishi), *Myrianthus holstii* (Umwufe), *Hagenia abyssinica* (Umwuzuzu) famille des Rosaceae, *Xymalos monospora* (Umuhotora), les espèces de *Ficus* sp, etc. Dans les vallées, on y rencontre des fougères arborescentes comme les *Cyathea*. C'est une caractéristique des forêts ombrophiles de montagne, on y trouve également des bananiers sauvages comme *Ensete ventricosa* (ikigomogomo) et des *Dracacaena afromontana* (ibitongati). Au-delà de 2500 m, on rencontre des forêts à Ericaceae caractérisées par *Philippia benguellensis* occupant les crêtes. Dans certains endroits, *Arundinalia alpina* et des pelouses à *Eragrostis* et se manifestent à certains endroits.

5.2.2. Le District du Graben occidental

La végétation qui domine est celle qui est caractéristique de la plaine de la Rusizi et c'est une savane palmerais à *Hyphaene benguellensis* var. *ventricosa* (*Hyphaene petersiana*) de la famille des Arecaceae, variété endémique de ce district. Dans cette formation végétale se trouve intercalée des zones humides avec une végétation semi-aquatiques : *Nymphaea lotus* (Amarebe). Sur les rives du Lac Tanganyika et le long des marais de la Rusizi se rencontre des formations d'*Ipomea pes-caprae* et de *Phragmites*. Les formations arbustives et arborescentes sont représentées par *Aechynomena elaphoxylon* (Fabaceae) : *Acacia polyacantha* (Mimosaceae). Dans la transition avec le district Zambézien où se rencontre des formations forestières de forêts claires de type MIOMBO caractérisées par les espèces de *Brachystegia microphylla*, *Brachystegie speciformis*, *Brachystegia bussei*.

5.2.3. Le District du Rwanda-Burundi

Ce district correspond à la partie du pays la plus peuplée où la végétation naturelle a été très dégradée. La végétation est constituée de savanes arborée à *Parinari excelsum* ou à *Acacia sieberiana* et *Acacia polyacantha*. Les forêts de Galeries à *Acacia sieberiana* sont présentes dans la partie du Parc national de la Ruvubu. D'autres espèces entrent dans la composition floristique de ces savanes où dominent les graminées de Types *Hyparrhenia* et *Loudetia*.

5.2.4. Le district du Bugesera

Le district de Bugesera correspond à la partie Nord du pays où subsistent quelques îlots de végétation essentiellement localisés au Nord du pays dominés par les formations marécageuses des lacs du Nord : Cohoha, Busera et Rwihinda. La région est une zone aride avec une savane avec des petits arbrisseaux épineux du genre *Acacia*, des Euphorbiaceae (*Euphorbia dawei*) et des cactus mélangés avec des espèces d'Aloes. Dans certains endroits, on y rencontre des milieux couverts de termitières. Ceci est plus visible dans la forêt de Murehe qui correspond à une forêt sclérophylle. Le terme de « forêts sèches » ou « sclérophylles » sont donnés à l'ensemble des formations forestières qui se développent dans un climat sec, moins de 1 100 mm de pluie par an.

5.2.5. District du Mosso et de la Malagarazi

Pour étudier la végétation de ce district, nous avons pris comme étude de cas : La Réserve Naturelle Forestière de Rumonge (**Figure 24**). Située à une altitude de 850m, cette réserve couvre une superficie de 600 ha. Elle est formée par la forêt claire à *Brachystegia div sp.* Nous y trouvons la forêt claire à *Brachystegia* de Nyamirambo autrement appelée « mu ngongo » suite aux arbres dominants (*Brachystegia* : ingongo) qui s'y trouvent. La dominance de chacune d'elles est liée à la nature du sol : *Brachystegia spiciformus* sur le sol profond dans les bas fonds, *Brachystegia microphylla* sur les sols rocailleux des sommets des collines, *Brachystegia bussei* sur le sol pauvre et superficiel des pentes raides. A certains endroit, les espèces du genre *Uapaca* se mélangent aux espèces de *Brachystegia* et l'aspect de forêt claire se transforme en une végétation typique de fourrées qui poussent sur de haute termitières (INECN, 2000).



Figure 24. Vue partielle de la Forêt claire de Rumonge

Le Tableau 5 suivant illustre les limites altitudinales de chaque district et en donne quelques informations sur les facteurs climatiques et les pressions anthropiques qui sont spécifiques pour chaque District.

Tableau 5. Limites altitudinales et quelques informations sur les facteurs climatiques et les pressions anthropiques de chaque district

Territoire (District)	Facteur environnemental prépondérant	Forêt			Pression dominante
		Type	Feuillage/saisonnalité	Hauteur (m): Strates	
Montagnard					
Etage montagnard (alt. >= 1600-2700 m)	- P >= 1600 mm/an - Pas de période sèche - Sol meuble	Ombrophile de montagne	Sempervirent	30-45: 4	Cultures vivrières ou de rente, pâturage, mines, bois d'oeuvre
	- Sol squelettique - pentes > = 15°	Fruticée sclérophylle	Idem	8: 3	Incendies, pâturages
Etage afrosubalpin ¹³ (alt. >= 2400-3500 m)	Sols acides	Bruyères arborescentes	Idem	8: 3	Incendies, pâturages Idem
	?	Bambousaie	Idem	25:3	Défrichement, incendies, pâturages
	?	Forêt parc (<i>Hagenia</i>)	Idem	18: 3	Idem
Mosso-Malagarazi					
	- P. = +- 1500 mm/an - Saison sèche 2-3 mois	Semi-décidues	Semi-caducifolié	35-45: 5	Agriculture, bois d'oeuvre, charbonnage, mines
	- P. = +- 1000 mm/an ; - Saison sèche: 4-7 mois ; - Sols arides	Miombo	Caducifoliée	10-20: 3	Feux, agriculture mines, bois d'oeuvre
Kagera-Bugesera (Rwandi-Burundi)					
	- P. + 1200 mm/an ; 4 mois de saison sèche Sols secs	Forêt sèche	Caducifolié /aphylle	15: 3	Feux, agriculture, bois de cuisine, mines (Nickel, ...)
	Sols moins secs	Enclaves forestières mésophiles	Semi-caducifolié	15: 3	Idem
Ruzizi (Graben occidental)					
	- P < 1000 mm/an Foehn desséchant. plaine de la Ruzizi au niveau de l'Imbo (Lewalle (1972)).	Forêt sclérophylle (restes peu étendus et localisés)	Idem	8-10: 3	Agriculture, Feux
Azonal¹⁴: Tous les territoires ci-dessus					
	Marécages	Galerie forestière, Forêt marécageuse	Variable	10-20: 3-4	Agriculture, mines, bois d'oeuvre
	Vallées alluviales	Forêts alluviales	Variable	25: 4	Idem

¹³ Cet intervalle est différent de celui qui a été reconnu au niveau des Virunga, où la limite inférieure de l'étage afro-subalpin correspond à 2600 m d'altitude

¹⁴ Où prévalent les conditions édaphiques (état des sols) et où le climat général exerce peu d'influence sur la végétation

5.3. CONTRAINTES SUR LES TECHNIQUES DE DELIMITATION ET DENOMINATION DES TERRITOIRES PHYTOGEOGRAPHIQUES

L'approche traditionnelle de la biogéographie pose plusieurs problèmes. Il y a d'abord la non-concordance d'un auteur à l'autre parce que :

- les critères de classification ne sont généralement pas clairement définis; les appellations restent ambiguës car elles combinent à la fois des informations d'ordre géographique et écologique sans le faire de manière uniforme ;
- les résultats dépendent de la connaissance des distributions des espèces, qui sont encore très souvent mal connues;
- l'approche nécessite une connaissance encyclopédique de la distribution des espèces et des habitats, alliée à une forte capacité d'intégration pour les synthétiser en quelques classes.

Ensuite, cette approche peut entraîner un raisonnement circulaire car il est difficile de ne pas être influencé lors du classement des espèces ou la définition des territoires homogènes par d'autres structures géographiques (géologique, topographiques, ...) qui semblent ensuite expliquer les distributions.

L'approche inductive de la biogéographie traditionnelle ou qualitative nécessite un affinement de la méthodologie utilisée pour mieux en contrôler la signification et la pertinence des résultats. C'est ce que l'approche quantitative essaye de faire.

CHAPITRE VI. APPLICATIONS DE LA BIOGEOGRAPHIE

6.1. INITIATION A LA BIOGEOGRAPHIE INSULAIRE

6.1.1. Introduction.

Les îles sont définies comme des terres isolées de tous côtés par les eaux». Ici il faut comprendre la notion de l'isolement qui est lié à l'encerclement de l'espace exondé par les eaux. Les îles ont diverses origines. Deux grandes catégories doivent être distinguées, les îles continentales et les îles océaniques.

A première vue, la biogéographie insulaire peut paraître un domaine somme toute assez restreint, réservé à des amateurs de soleil et de milieux enchanteurs. Or, ce domaine est à l'origine d'un très vaste élan de recherches qui a débuté à la fin des années 60 à la suite d'une proposition d'un modèle général de peuplement des milieux insulaires qui peut être étendu aux écosystèmes terrestres.

Le morcellement du paysage et la densité des activités humaines sont tels qu'actuellement, la plupart des habitats naturels ou semi-naturels sont autant d'îles perdues au milieu d'un environnement fortement modifié. Ces habitats peuvent être assimilés à **des îles continentales**, au même titre que les massifs montagneux isolés sur un continent, les lacs et étangs dispersés dans une région.

La réflexion engendrée par la biogéographie insulaire concerne ainsi de très nombreux écosystèmes terrestres. La situation d'insularité provoque toute une série de modifications et d'adaptations d'un grand intérêt pour le biogéographe car les îles offrent de nombreux avantages et peuvent être considérées comme de véritables "laboratoires naturels".

6.1.2. Le syndrome d'insularité

Les peuplements insulaires se distinguent de leurs homologues continentaux par un ensemble de modifications ou **syndrome d'insularité**.

Le syndrome d'insularité résulte de divers ajustements écologiques, de l'isolement et des stratégies adaptatives qui en découlent. Sur les îles, les peuplements, les espèces et les populations présentent différentes caractéristiques ou manifestations du syndrome d'insularité qui sont propres à leur situation insulaire et qui les distinguent de peuplements, espèces et populations similaires sur le continent.

6.1.2.1. Richesse spécifique

A surface égale, il y a toujours **moins d'espèces sur une île** que sur le continent.

Une relation bien connue existe entre la surface d'un élément géographique et le nombre d'espèces qui y est observé. Plus la surface est élevée, plus le nombre d'espèces est grand. Cette relation, appelée **courbe aire-espèces**, a la forme d'une courbe croissante monotone qui tend vers une asymptote, représentant le nombre maximal d'espèces observé pour l'ensemble du globe terrestre (Blondel, 1995). Cela signifie que pour un même accroissement de superficie, l'augmentation du nombre d'espèces est plus rapide sur les îles que sur le continent. Lorsqu'on y regarde de plus près, les peuplements des îles ne sont pas un échantillon aléatoire de ceux du continent. On y observe en effet une beaucoup plus grande proportion d'espèces généralistes, à large amplitude écologique. De plus, les espèces présentes sur les petites îles ont un indice d'amplitude géographique moyen plus grand que les peuplements d'espèces d'îles de plus grande surface. Comme cet indice mesure simplement le nombre d'îles dans lesquelles les espèces sont présentes, un fort indice moyen signifie que le peuplement d'oiseaux est dominé par des espèces généralistes, occupant aussi de nombreuses autres îles. Les taxocénoses insulaires se caractérisent par ailleurs par un élagage d'espèces prédatrices et super-prédatrices, qui ne peuvent coexister sur des espaces de surface restreinte. Parmi les oiseaux, les rapaces grands prédateurs font souvent défaut dans les taxocénoses insulaires ou ne sont représentés que par une seule espèce.

Par ailleurs, c'est sur les îles qu'on observe une plus grande proportion d'espèces endémiques, avec de grandes proportions sur les îles isolées de grande taille. Hawaï, par exemple, compte 1200 espèces de plantes vasculaires ou parmi les angiospermes près de 91% sont endémiques.

6.1.2.2. Amplitude écologique

Lorsqu'on compare les mêmes espèces, les populations insulaires ont généralement une plus grande amplitude écologique que les populations continentales.

6.1.2.3. Densité

Corrolaire aux points précédents, les densités des populations sont plus élevées sur les îles que sur des zones semblables sur le continent.

6.1.2.4. Sédentarité

Une idée largement répandue veut que les espèces inféodées aux îles ont un pouvoir de dispersion moindre que celles qui occupent des espaces similaires sur le continent. C'est notamment sur les îles que sont observés de nombreux oiseaux ayant perdu la possibilité de voler (les Dodos, le Kagu, le Kakapo (perroquet), le Cormoran des Galapagos, 3 espèces d'Ibis et 4 espèces de canards des îles Hawaï et 17 espèces du groupe des râles). La récurrence de cet état dans différents groupes biologiques où d'autres espèces peuvent voler semble indiquer une telle adaptation (Whittaker, 1998).

6.1.2.5. Nanisme des grands et gigantisme des petits

Enfin, l'un des traits spécifiques majeurs est la tendance à l'uniformisation des tailles des différentes espèces occupant une île. Les espèces de grande taille sur le continent sont généralement plus petites sur l'île, alors que les espèces de petite taille y sont généralement plus grandes.

L'exemple le plus connu de gigantisme est celui des tortues des Galapagos et des îles de l'Océan Indien. Toutefois, il faut encore rester prudent dans la généralisation éventuelle de cas particuliers et tenir compte, par exemple, que toutes ces tortues géantes appartiennent à même genre, qui ont été présentes ailleurs comme en Amérique du Sud, en Afrique, à Madagascar, aux Seychelles où l'homme les a fait disparaître parfois depuis longtemps.

Toutefois, il est démontré que pour les rongeurs (Whittaker, 1998), 85% des rongeurs insulaires sont plus grands, sans doute par l'absence de prédateurs. De même, l'étude des carnivores et des ruminants artiodactyles indique une diminution de la taille similaire, sans doute en relation avec le peu de ressources disponibles. On rappellera que les îles méditerranéennes étaient occupées par des espèces naines d'éléphants, d'hippopotames et de cerfs (Crête, Malte, Corse, Sicile, ...).

6.1.3. Les Causes du syndrome d'insularité

6.1.3.1. Isolement

L'exemple ci-dessous montre que la richesse en espèces d'une série d'îles plus ou moins distantes du continent varie non seulement en fonction de leur surface mais aussi en fonction de leur isolement (Figure 25).

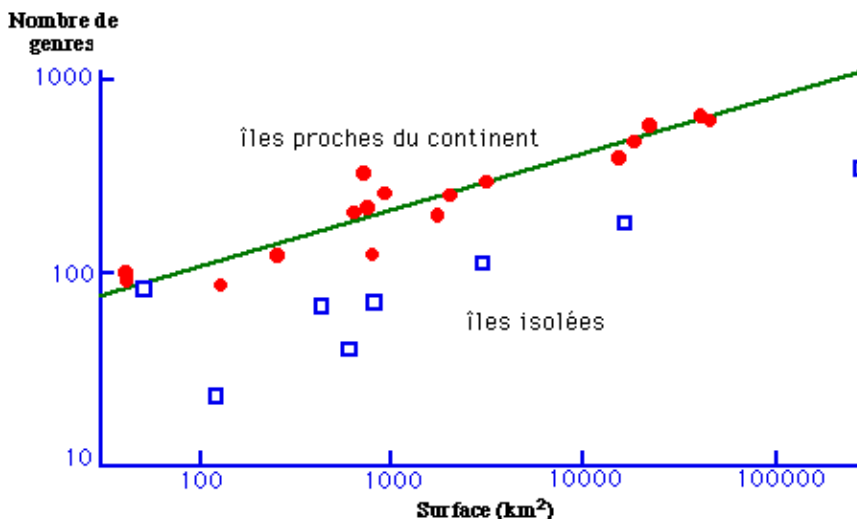


Figure 25. Diversité des genres de conifères et des plantes à fleur dans les îles du Pacifique

A surface égale, les îles les plus éloignées sont caractérisées par moins d'espèces que les îles les plus proches de la source, soit du continent. Le long de chapelets d'îles, la distance joue un

rôle de filtre progressif, avec de moins en moins d'espèces typique du continent ou de la source au fur et à mesure qu'on s'en éloigne (Whittaker, 1998).

6.1.3.2. Manque d'habitats favorables

L'absence d'habitats favorables est aussi une des raisons de la pauvreté en espèces des îles. La faible surface d'une île limite d'autant la diversité des habitats qui peuvent y être présents ainsi que la taille de ces habitats. Ceux-ci sont en effet autant de petits îlots qui, s'ils sont trop petits ou trop éloignés les uns des autres, ne permettent pas à des espèces de s'installer avec succès sur une île. La taille limitée d'une île augmente ainsi le rôle de la taille des îlots d'habitats qui sont susceptibles d'être occupés par des espèces exigeantes ou à faible amplitude d'habitat. On assiste donc à un emboîtement des effets de l'insularisation au sein même des îles qui accentue la difficulté d'installation d'espèces quelque peu exigeantes.

6.1.3.3. Compétition

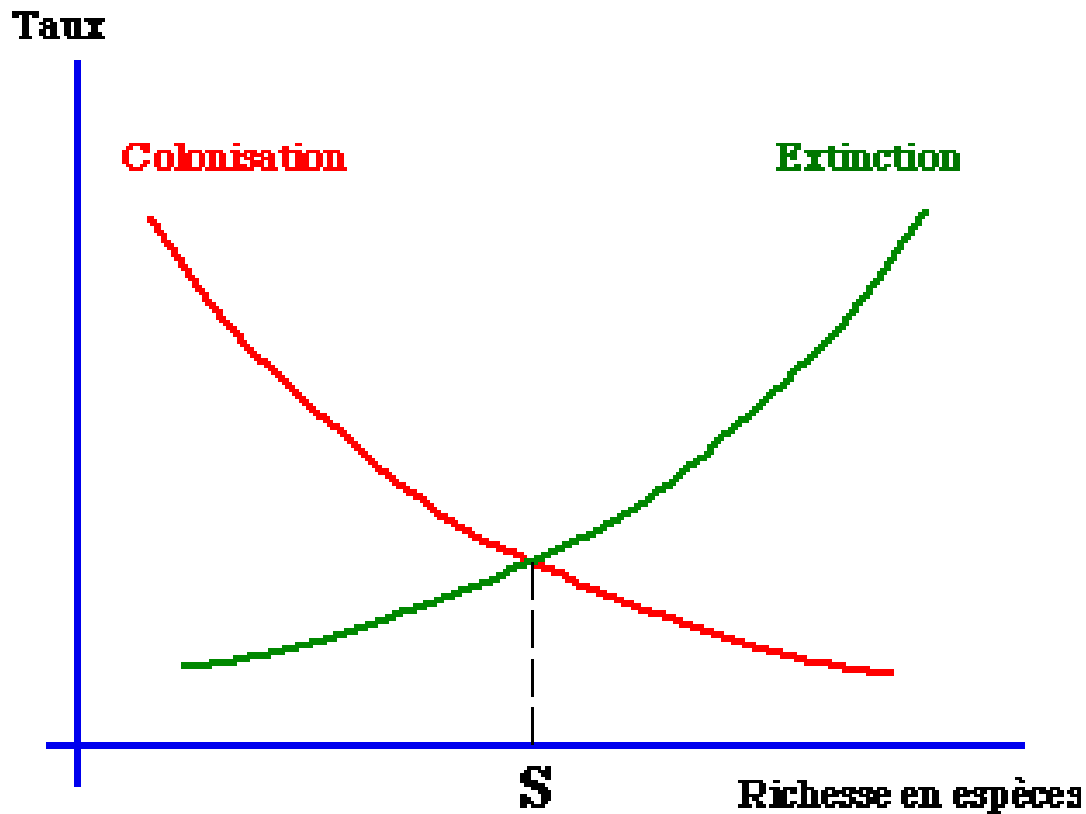
La compétition peut aussi jouer un rôle. Les ressources étant limitées, la compétition peut être **active**, soit impliquer une importante dépense d'énergie pour s'installer sur une île et expulser une espèce concurrente déjà présente ou défendre sa position et empêcher une autre espèce de s'installer. Elle peut être aussi **passive**, grâce à l'élargissement des niches. Les espèces présentes occupent une plus large gamme d'habitats, à la fois parce que les ressources sont limitées et qu'il faut élargir sa niche pour développer des densités suffisantes. Ce faisant, elles empêchent d'autres espèces de s'installer en marge de leur niche écologique originale.

6. 2. La théorie de l'équilibre dynamique

6.2.1. La théorie

Mac Arthur et Wilson (1967) ont présenté un modèle qui suppose que la richesse spécifique instantanée sur une île est la résultante d'un équilibre entre un **taux de colonisation** et un **taux d'extinction**. La richesse en espèces d'une île sera élevée si le taux de colonisation est élevé et si le taux d'extinction est faible. Une île sera pauvre en espèces si le taux de colonisation est faible et si le taux d'extinction est élevé.

On remarquera qu'on utilise le terme de **taux de colonisation** à la place du terme de **taux d'immigration**. Le taux d'immigration d'espèces sur une île peut être constant - l'île est soumise à une pluie de propagules constante - mais comme seule une partie des espèces arrivera à s'installer, c'est le taux de colonisation effectif de l'île qui est important (**Figure 26**).



S = le nombre d'espèces sur l'île qui résulte de l'équilibre entre taux de colonisation et taux d'extinction

Figure 26. Le modèle de Mac Arthur et Wilson

Le modèle de Mac Arthur et Wilson représente l'évolution du taux de colonisation par une fonction décroissante du nombre d'espèces présentes sur l'île. Les ressources étant limitées, plus le nombre d'espèces déjà présentes sur une île est élevé, plus le taux de colonisation diminue. Le fait que les niches écologiques disponibles deviennent de plus en plus rares ne favorise pas l'installation de nouveaux arrivants.

Symétriquement, l'évolution du taux d'extinction devrait être une fonction croissante du nombre d'espèces total sur l'île. Plus les espèces sont nombreuses, plus les interactions compétitives augmentent et provoquent une augmentation des taux d'extinction. L'intersection des deux courbes obtenues définit la **richesse en espèces à l'équilibre**, c'est-à-dire l'équilibre entre taux de colonisation et taux d'extinction.

Le modèle prédit que si deux îles sont soumises au même taux d'immigration, le taux d'extinction sera plus important sur la plus petite et qu'en conséquence, le nombre d'espèces sera moindre sur l'île de petite taille (**Figure 27**).

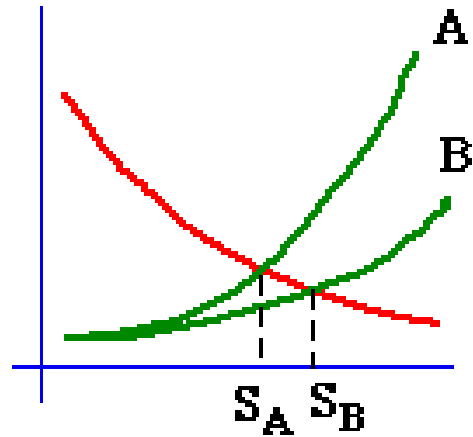
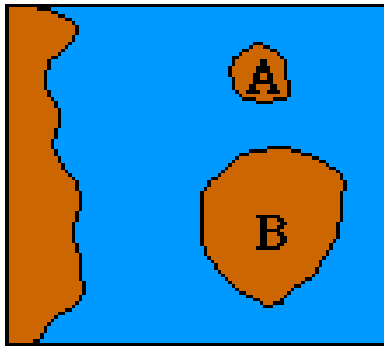


Figure 27. Effet de la taille de l'île

Le modèle prédit aussi que plus une île est éloignée, comme elle est soumise à un taux d'immigration moindre, le taux de colonisation sera inférieur. A surface égale, l'équilibre de ces taux de colonisation différentiels avec un taux d'extinction similaire implique une moindre richesse sur les îles éloignées (Figure 28).

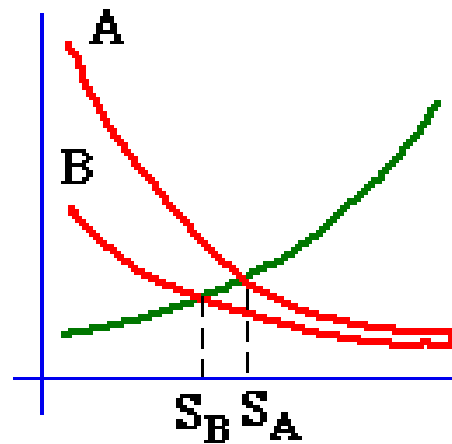
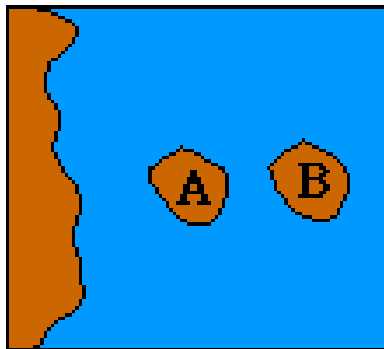


Figure 28. Effet de l'isolement de l'île

Le modèle suppose donc que le taux d'extinction dépend de la surface de l'île et que le taux d'immigration est lié à l'isolement de l'île.

Comment valider le modèle ? En général, on suppose qu'il faut répondre à 5 prédictions pour que le modèle soit valide :

1. moins d'espèces sur une île (ou milieu assimilé) que sur un milieu similaire non-insularisé,
2. observations fréquentes d'extinctions,
3. observations fréquentes de nouveaux immigrants,
4. stabilité relative du nombre d'espèces,
5. observation des phénomènes de sursaturation, c'est-à-dire un grand nombre d'espèces en fin de colonisation, suivi d'une diminution et d'un retour à l'équilibre.

La simple observation d'une relation entre l'aire des îles et le nombre d'espèces ne suffit pas à valider le modèle. Il faut aussi qu'il y ait un remplacement ("turnover") significatif des espèces au cours du temps tout en conservant un nombre d'espèces similaire.

Ce modèle a fait l'objet d'une abondante littérature et a été à l'origine d'un nouvel élan de la biogéographie. La raison majeure est qu'il permet de formaliser des hypothèses et d'en tester les prédictions. De nombreuses problématiques actuelles, tant en biogéographie qu'en biologie de la conservation, résultent de l'approche proposée par Mac Arthur.

6.2.2. Les limites du modèle de Mac Arthur et Wilson

Si le modèle a pu susciter un fort élan de recherches et de discussions, c'est aussi parce qu'il présente des simplifications majeures :

- A surface égale, les îles sont loin d'être comparables les unes aux autres. Le gradient d'altitude, la diversité des habitats, leurs niveaux de complexité et de productivité, ... conditionnent aussi le nombre d'espèces qui peuvent occuper une île.
- Le modèle est fondé uniquement sur le nombre d'espèces, sans tenir compte des différences de densité. Il semble en effet logique que la résistance qu'une espèce offre à un nouvel immigrant doit être proportionnelle à sa densité et que le modèle devrait en tenir compte.
- Il place toute les espèces sur le même pied alors que leur écologie, leur aptitude à la dispersion, ... sont différentes et qu'elles n'ont donc pas toutes les mêmes chances de réussir la colonisation ni les mêmes risques d'extinction.
- Le modèle ne tient pas compte des possibilités d'adaptation (syndrome d'insularité) des espèces qui tendent justement à s'opposer au renouvellement permanent des faunes et des flores. Ce dernier point, qui souligne la contradiction entre la dynamique supposée par la théorie de l'équilibre dynamique et la réaction des biocénoses traduite par les manifestations du syndrome d'insularité, est l'un des points faibles majeurs de la théorie.

Malgré toutes les controverses, le modèle a toutefois considérablement rajeuni et revitalisé un domaine qui était essentiellement descriptif. En secouant la tradition, la théorie de Mac Arthur et Wilson a largement dépassé le cadre strict de la biogéographie insulaire puisque les problèmes de la structuration des assemblages d'espèces et les fondements de la biologie de la conservation ont été établis par cette approche. La section suivante est d'ailleurs consacrée à une application de la théorie de l'équilibre dynamique à la biologie de la conservation.

6.3. LA THEORIE DE "SINGLE LARGE OR SEVERAL SMALL" (SLOSS) EN CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE :

Si on applique la relation aire-espèces et les prédictions de la théorie de l'équilibre dynamique au domaine de la conservation de la biodiversité, la biogéographie insulaire fournit un certain nombre d'indices nécessaires à la définition d'une stratégie de conservation.

Sur la base de la courbe aire-espèce, il est logique de supposer qu'il vaut mieux réserver une seule surface, mais de grande taille, au maintien de la biodiversité plutôt que de créer un ensemble de réserves de taille plus petite et ce, même si la surface totale est identique. Wilson & Willis (1975) défendent les réserves de grande taille car la somme des espèces de petites réserves inclus en partie les mêmes espèces.

Higgs & Usher (1980) ont essayé d'appliquer ce critère pour définir la taille optimale de réserves naturelles. Ils se sont logiquement fondés sur le nombre d'espèces en commun partagé par les réserves de petite taille comme critère de décision :

Sur la base de ces observations, deux règles simples ont d'abord été proposées :

- les espaces réservés à la biodiversité doivent être les plus grands possible puisque le taux d'extinction diminue avec leur surface,
- ces réserves doivent être les plus proches possible, de manière à maintenir une immigration plus forte, ce qui diminue le risque d'extinction et permet à une espèce dont la population s'est éteinte de recoloniser l'espace réservé. Mais cette seconde règle est loin de concerner l'ensemble des taxons car certains n'ont aucune chance de se déplacer.

Les autres avantages dépendant de la taille de la réserve sont :

- une augmentation de la diversité des écosystèmes et de leurs interactions, ce qui permet des cycles de changements environnementaux (physiques et biologiques) beaucoup plus longs, donne donc plus de chances aux organismes de s'y adapter et permet à des espèces qui ont besoin de larges zones pour survivre (comme les superprédateurs) de s'installer;
- une subdivision des populations d'une même espèce qui favorise la diversité génétique sans pour autant isoler des pools de gènes;
- la diminution des effets de bordure ou de lisière en l'absence de zones "tampons";
- les économies d'échelle en matière de gestion de la réserve.

Toutefois, cette approche a suscité une forte polémique, résumée par l'acronyme SLOSS, parce que d'autres arguments conduisent à proposer une stratégie diamétralement opposée. En effet, il semblerait plus prudent de disperser les espaces réservés à la vie sauvage parce que :

- la courbe aire-espèce n'indique pas que se sont les mêmes espèces qui sont présentes sur des îles de petites tailles; la somme des groupes d'espèces peut être plus grande que celle caractérisant une île ayant une surface correspondant à la somme des surfaces des petites îles (cfr ci-dessus);
- disperser physiquement les espèces sur des îles est le seul moyen de conserver des espèces qui occupent la même niche écologique et qui seraient en compétition si elles doivent se partager le même espace physique;
- de nombreuses espèces "fugitives" (typique d'un seul stade des successions) ont plus de chances de disparaître sur une zone unique;
- des catastrophes naturelles (tempêtes, ouragans, incendies, ...) et des épidémies peuvent affecter de manière dramatique l'unique réserve de grande taille alors que la dispersion en petites zones conduit à augmenter les chances de restauration de la population totale à partir des noyaux préservés ("spreading of risk").
-

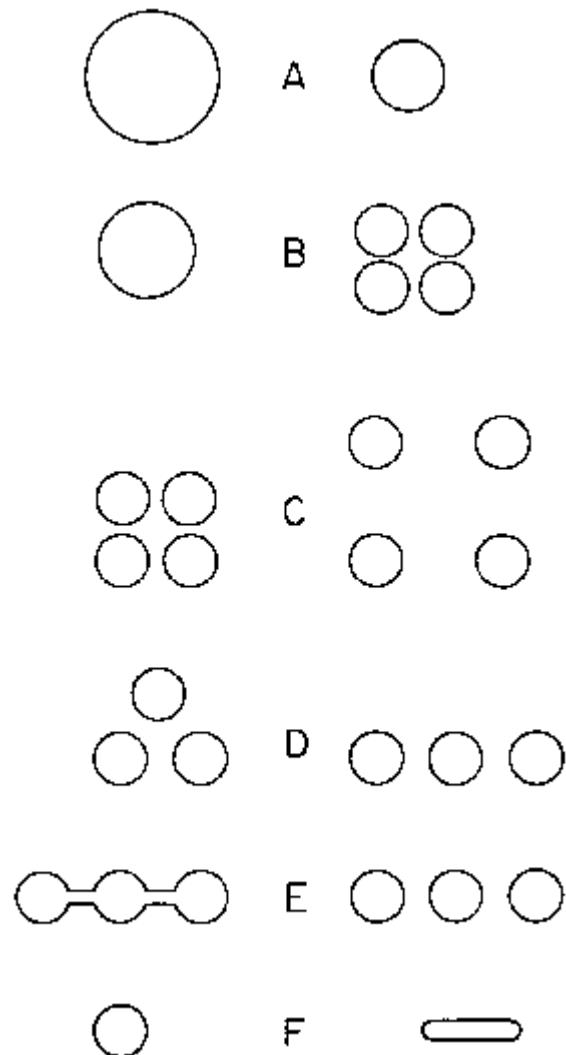
Cette proposition inverse a suscité une profonde polémique et, elle soulève à l'évidence des points cruciaux auxquels la courbe aire-espèce ne peut répondre. Plusieurs problèmes méthodologiques sont ainsi évoqués comme la difficulté de tenir compte de l'hétérogénéité naturelle des aires de plus grande taille, du rôle des espaces environnants les zones isolées étudiées qui, eux aussi jouent un rôle (zone de nourrissage) significatif pour expliquer la persistance des populations ou la difficulté d'échantillonner de la même manière des aires de taille différentes.

Si la théorie de l'équilibre dynamique n'a pas réussi à expliquer nombre de structures écologiques, elle a toutefois permis de faire avancer l'un des domaines les plus intéressants de la biogéographie contemporaine. Mac Arthur et Wilson ont initié un vaste champ d'investigations qui a largement débordé le problème des îles océaniques pour aborder les problématiques de la taille des réserves naturelles, de la dynamique des paysages et des mosaïques d'habitats, de la génétique des petites populations, de la taille qui caractérise une population viable, des barrières à la dispersion, ...

6.4. APPLICATIONS DE LA THEORIE DE LA BIOGEOGRAPHIE INSULAIRE A LA GESTION DES PAYSAGES (Shafer, 1990).

- Il semble qu'il vaut mieux :
- une zone de grande surface plutôt qu'une petite (A)
- à surface égale, une grande zone serait plus intéressante qu'une série de petites zones (B)
- de petites zones proches plutôt qu'éloignées (C)
- une distance homogène entre les zones (D), de manière à maximiser les possibilités d'échanges et offrir ainsi différents chemins pour la dispersion
- des zones liées par des corridors plutôt qu'isolées (E)
- des zones de forme aussi longue que large plutôt qu'oblongues pour augmenter les effets tampons (F), et préserver de manière sûre le coeur de la réserve des perturbations d'origine anthropique.

Le débat continue toutefois sur les propositions B, C & F.



Il est évident que la théorie de l'équilibre dynamique est alors une bonne théorie. Toutefois, peu de personnes utilisent la biogéographie insulaire comme modèle de base pour étudier et gérer les paysages. La polémique SLOSS a eu le mérite de remettre en question l'interprétation parfois simpliste de la courbe aire-espèce. Il est évident que la définition d'une stratégie de conservation doit aussi tenir compte d'autres critères comme l'isolement des zones protégées (barrières, corridors, ...), la disposition géographique des unités, leur forme, leur représentativité, ... et surtout, les possibilités de dispersion et les traits d'histoire naturelle des organismes dont on souhaite conserver prioritairement des populations viables. C'est notamment ce qui est souvent abordé dans la théorie sur **la fragmentation des habitats et au concept de dynamique des populations.**

6.5 LE PHENOMENE DE PERTURBATIONS ECOLOGIQUE ET SES IMPLICATIONS SUR LA BIODIVERSITE

6.5.1. Introduction

Les perturbations que subissent les différents écosystèmes sont souvent perçues comme ayant des impacts négatifs sur leur dynamique. En milieu forestier par exemple, les invasions liées aux insectes ou autres espèces invasives, les feux ou les chablis simplifient la structure de l'écosystème et peuvent entraîner des pertes en espèces végétales ou d'autres faits liés à l'économie.

Toutefois, ces perturbations naturelles contribuent généralement au rajeunissement des communautés. De tels écosystèmes perturbés ont, dans la plupart des cas, la capacité de se rétablir une fois la perturbation passée. L'écosystème retrouve alors progressivement sa composition spécifique ainsi que les rôles fonctionnels qui y sont associés via le processus de succession végétale. Notons également, que sous certaines circonstances, de nombreux écosystèmes ne peuvent se rétablir naturellement et nécessitent une intervention extérieure afin de faciliter le retour aux conditions d'origine (Restauration). Le plus souvent, ce sont des écosystèmes affectés par les perturbations de nature anthropique. Dans cette partie, nous discuterons essentiellement la notion de perturbation et la notion de succession écologique car les deux notions sont souvent liées.

6.5.2. La Théorie de perturbation en écologie

Une perturbation correspond à un événement localisé et imprévisible qui endommage, déplace ou tue un ou plusieurs individus ou communautés, créant une occasion de colonisation par de nouveaux organismes. C'est également le moteur de la dynamique spatio-temporelle des communautés. Les perturbations interviennent à toutes les échelles de temps et d'espace (m^2 , ha, km^2) et participent à maintenir la diversité des paysages naturels et de leur diversité biologique (Figure 30). Ceci est illustré par l'hypothèse des perturbations intermédiaires (HPI). Cette hypothèse propose que dans les communautés d'organismes qui passent le maximum de leur temps immobiles, un maximum de diversité est obtenu pour une fréquence ou une taille intermédiaire des perturbations (Figure 30). Des perturbations fréquentes et de forte intensité empêchent les espèces les plus compétitives de dominer, favorisant ainsi les espèces moins compétitives, plus résistantes aux perturbations ou meilleures colonisatrices. Cette hypothèse suppose également qu'un pic de diversité est atteint au cours du temps après occurrence d'une perturbation et initiation d'une succession. Les espèces pionnières, peu compétitives dominent les premières phases de la succession puis laissent peu à peu la place aux espèces tolérantes, plus compétitives).

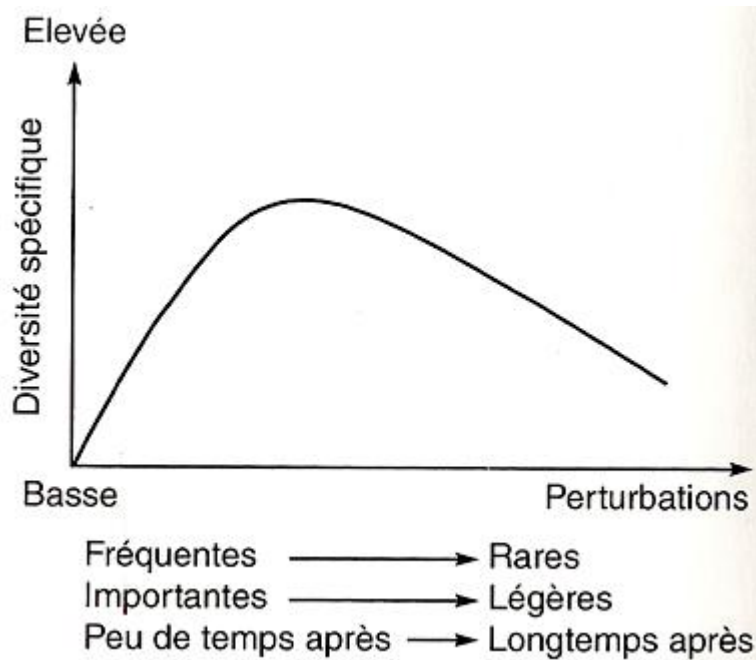


Figure 30. Illustration de l'hypothèse des perturbations intermédiaires.

Un maximum de diversité est observé pour une fréquence ou une taille intermédiaire des perturbations, ou un temps intermédiaire depuis la dernière perturbation (théorie des successions).

En conclusion, la diversité est élevée en relation avec des niveaux intermédiaires de perturbations (d'origine physique ou biotique). Le résultat des perturbations est souvent une augmentation de la diversité, car celles-ci créent des opportunités pour de nouvelles Espèces en diversifiant les niches écologiques.

Dans les faits, nous distinguons deux types de perturbations :

Perturbation endogène : Perturbation liée au cycle des organismes végétaux

Exemple : Chablis : Cas de la forêt de Kigwena

Trouée dans la canopée se produisant spontanément quand les arbres meurent. Il se produit une modification de l'environnement offrant ainsi de nouvelles conditions de lumière et d'humidité, une accélération de la minéralisation et une modification du statut trophique du sol, une création de micro-habitats. La fréquence des chablis est fonction du temps de génération des essences végétales.

Perturbation exogène : Perturbation liée aux facteurs environnementaux (abiotiques et biotiques). **Exemples :**

- climatiques : ouragans – tempêtes – sécheresse
- catastrophiques : incendies – glissement de terrain – coulée de lave
- biotiques : compétiteur – fousseur

Pour information, ces types de perturbation est plus rare que le chablis mais affectant des surfaces plus grandes (exemples des feux)

6.5.3. Notion de successions écologiques

Plusieurs définitions sont attribuées au terme « Succession écologique ».

- Ensemble de processus par lesquels un écosystème naturellement ou artificiellement altéré ou détruit se reconstitue spontanément pour recouvrer son état initial
- Séquence prévisible d'événements de colonisation et de remplacement d'espèces qui a lieu suite à la perturbation d'un écosystème et qui conduit éventuellement au rétablissement de la communauté climacique
- Changement directionnel dans la composition en espèces d'une communauté végétale au cours du temps (**Figure 31**).

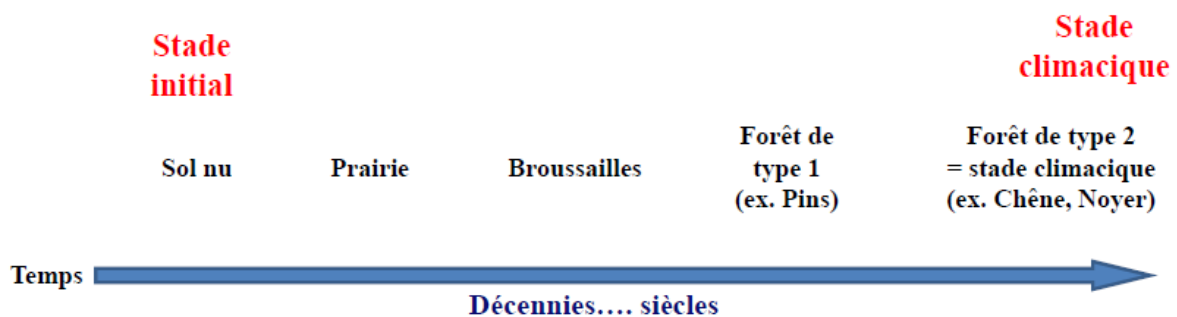


Figure 31. Processus de Succession sur une échelle de Temps

6.5.3.1 Les principaux types de succession

- Succession autogène vs. allogène:

- Les successions autogènes résultent d'un processus biotique s'exerçant à l'intérieur de l'écosystème. Les modifications sont induites par les organismes eux-mêmes.
- Les successions allogènes résultent de l'influence de facteurs extérieurs à l'écosystème (ex. pollution, incendie). Les successions allogènes peuvent engendrer des séries régressives (peuplements successifs de plus en plus pauvres) pouvant aboutir à la destruction totale de l'écosystème.

- **Succession primaire et secondaire** : Colonisation et développement vs. Régénération (recolonisation). Les deux types de succession ne s'excluent pas mutuellement (importance des échelles de temps)

La succession est dite primaire lorsqu'elle débute sur un habitat vierge (Sol nu), dépourvu de sol soit après un (**volcanisme, mouvement des glaciers, inondations, dunes mobiles**). Elle débute avec l'installation d'espèces qui n'ont pas besoin de sol pour survivre, « les espèces pionnières ». La formation du sol (= pédogenèse) commence avec l'arrivée de lichens qui en se décomposant fourniront les premiers apports de matière organique. Des plantes simples,

telles que mousses et fougères, se développent sur la matière organique laissée par les lichens après leur mort. Les plantes simples (mousses, fougères) meurent et se décomposent à leur tour, apportant plus de matière organique. L'épaisseur du sol augmente permettant l'installation d'autres plantes (graminées). Ces plantes meurent et se décomposent à leur tour, apportant plus de sels nutritifs disponibles dans le sol. Les arbres et arbustes peuvent désormais se développer et survivre. Par après les Insectes, oiseaux et mammifères apparaissent au fur et à mesure des changements de stade. Ce qui était initialement un sol nu est désormais colonisé par une large variété d'organismes vivants.

La Succession secondaire débute à partir d'un état dégradé du climax après une perturbation comme l'incendie, tempête, déforestation, attaque de pathogènes, agriculture, pâturage,...). Les espèces pionnières sont différentes que pour la succession primaire. Il faut retenir que la distinction entre les deux est parfois difficile en fonction de l'intensité de la perturbation c'est-à-dire le niveau de destruction de la communauté et de son environnement physico-chimique).

6.5.3.2. Mécanisme de la succession

Le processus de succession résulte d'une combinaison de facteurs liés aux interactions interspécifiques, aux traits d'histoire de vie des espèces et à des facteurs aléatoires. Trois modèles écologiques ont été proposés pour expliquer le processus de succession : (facilitation, tolérance et inhibition).

Le premier modèle, **celui de la facilitation**, suggère que la colonisation initiale du site est grandement limitée par la rigueur des conditions environnementales. Seules quelques espèces dites pionnières, particulièrement bien adaptées à la rigueur de l'environnement, peuvent initialement coloniser le site. Toutefois, leur présence permettra d'atténuer les stress environnementaux, facilitant ainsi la venue d'autres espèces. Or, les espèces pionnières sont généralement peu compétitives par rapport aux espèces arrivant un peu plus tard dans la succession. Par conséquent, elles ne peuvent se maintenir dans la communauté dès que les conditions abiotiques s'améliorent. Tout au long de la succession, les différentes espèces seront remplacées par des espèces plus compétitives jusqu'à l'atteinte d'une communauté à l'équilibre avec les conditions environnementales, c'est-à-dire capable de se maintenir en l'absence de perturbations. En ce sens, les espèces de fin de succession bénéficient de l'effet facilitateur des espèces les ayant précédées. Ce modèle s'applique surtout dans les situations de succession primaire telles que, le substrat mis en place lors d'éruptions volcaniques.

Le second modèle de succession, **soit celui de la tolérance**, suggère que les espèces dominantes à la fin du processus de succession sont celles qui tolèrent une faible disponibilité des ressources. Il diffère du modèle de facilitation du fait que toutes les espèces peuvent coloniser le site dès le stade initial, ce qui implique que les conditions environnementales ne sont pas extrêmes. Initialement, les espèces dominantes seront des espèces à croissance rapide et au cycle de vie relativement court. Cependant, ces espèces ne pourront se régénérer suite à la diminution des ressources disponibles, ce qui entraînera éventuellement leur disparition au profit des espèces à croissance lente mais pouvant supporter de faibles niveaux

de ressources. Ce modèle de succession est typique des successions secondaires en milieu terrestre comme après un passage d'un feu.

Enfin, le troisième modèle de succession, **soit celui de l'inhibition**, se caractérise avant tout par des relations d'interférence entre les différentes espèces. Cette interférence se manifeste lorsque l'établissement d'une espèce est inhibé par la présence d'une autre espèce. À l'instar du modèle de tolérance, toutes les espèces peuvent coloniser le site initialement. Les espèces qui réussissent à s'installer en premier monopolisent alors les ressources et l'espace, empêchant ainsi les autres espèces de s'établir. Le relâchement de composés allélopatiques, inhibant l'établissement d'autres espèces, peut également être considéré comme une variante de ce modèle. En l'absence de perturbations, les espèces peuvent se maintenir dans l'écosystème et arrêter temporairement la succession. La mortalité naturelle de certains individus (longévité restreinte ou suite à une perturbation) permet à de nouvelles espèces de coloniser le site. Ce modèle est typique des successions d'organismes sessiles, où il existe une forte compétition pour l'espace. Les espèces dominantes sont généralement les espèces les plus longévives et les plus résistantes aux perturbations (**Figure 32**)

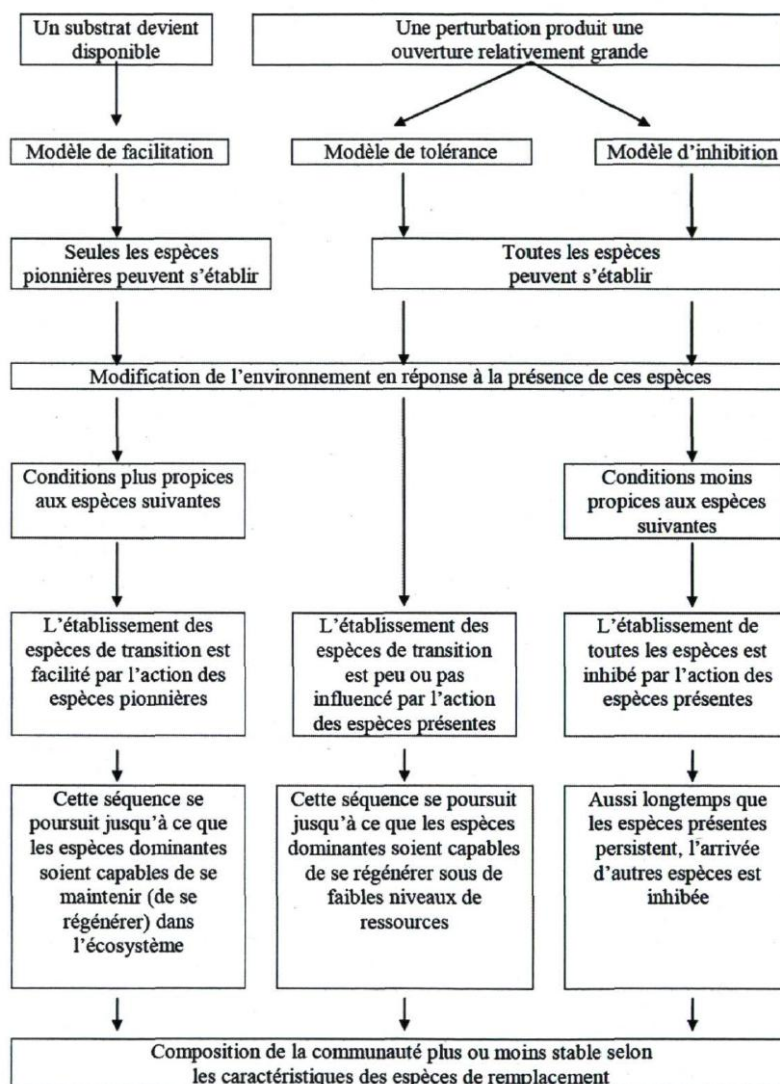


Figure 32. Illustration des trois modèles de succession (Connell et Slatyer, 1977)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bamps P. (1982). Flore d'Afrique Centrale (Zaïre-Rwanda-Burundi): Répertoire des lieux de récolte. Jardin Botanique National de Belgique, Meise.
2. Bigendako M.J., Gapusi J.R. & Masharabu T. (2009). Connaissances actuelles, expériences et potentialités des espèces ligneuses autochtones du Burundi. In: ACVE (ed.), Projet de revalorisation des espèces ligneuses autochtones du Burundi. *IUCN Netherlands & Ecosystems Grants Programme Project N° 600409*.
3. Blondel J. (1995). Biogéographie. Approche écologique et évolutive. Masson, Paris.
4. Cecca F. Le rôle de la biogéographie dans l'évolution de la Vie. Centre de Recherches sur la Paléobiodiversité et les Paléoenvironnements. Université Pierre et Marie Curie (*Online*)
5. Connell J.H. et Slatyer RO. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111: 1119-1144.
6. Cox C.B. (2001). The biogeographic regions reconsidered. *Journal of Biogeography*, 28 (4): 511-523.
7. Denys E. (1980). A tentative phytogeographical division of tropical Africa based on a mathematical analysis of distribution maps. *Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique*, 50: 465-504.
8. Feuerer T. & Hawksworth D.L. (2007). Biodiversity of lichens, including a world-wide analysis of checklist data based on Takhtajan's floristic regions. *Biodiversity and Conservation*, 16: 85 - 98.
9. Higgs, A. J. & Usher, M. B. (1980). Should nature reserves be large or small? *Nature*, Lond., 285, 568-9.
10. Koffi K.J. (2008). Analyse des structures spatiales des données de distribution phytogéographique en Afrique Centrale. Thèse. Université Libre de Bruxelles, Belgique.
11. Lambinon J. & Serusiaux E. (1977). Contribution à l'étude des lichens du Kivu (Zaïre), du Rwanda et du Burundi, I. Introduction. Genre *Everniopsis*, *Normandia* et *Placopsis*. *Bulletin Jardin Botanique de Belgique*, 47: 459-471.
12. Lebrun J. (1947). La végétation de la plaine alluviale au sud du lac Edouard. Institut des Parcs nationaux du Congo Belge, Exploration du Parc National Albert, Mission J. Lebrun (1937- 1938).
13. Lewalle J. (1972). Les étages de végétation du Burundi Occidental. *Bulletin Jardin Botanique National de Belgique*, 42.

14. Lincoln R.J., Boxshall G.A. & Clark P.F. (1982). A dictionary of ecology, evolution, and systematics. Cambridge University Press, Cambridge.
15. Linder H.P., Lovett J., Mutke J.M., Barthlott W., Jürgens N., Rebelo T. & Küper W. (2005). A numerical re-evaluation of the sub-Saharan phytochoria of mainland Africa. *Biologische Skrifter*, 55: 229-252.
16. MacArthur R. H. & Wilson E. O. (1967). The Theory of Island Biogeography. Princeton, NJ: Princeton University Press.
17. Maley J. (1996). The African rain forest: main characteristics of changes in vegetation and climate from the Upper Cretaceous to the Quaternary. In Alexander I.J., Swaine M.D., Watling R. (eds.): Essays on the ecology of the Guinea-Congo rain forest. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 104B: 31-73.
18. Masharabu T., 2011. Flore et végétation du Parc National de la Ruvubu au Burundi: diversité, structure et implications pour la conservation. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
19. Muhongere C., Stévant T., Droissart V. & Dahdouh-Guebas F. (2009). Diversity and distribution of endemic orchids of the Albertin-Rift. In Proceedings of the Symposium on African Botany in Brussels (eds F. Dahdouh-Guebas et al.), pp. 99. VUB-ULB, Brussels.
20. Myers N., Mittermeier R.A, Mitterneier C.G., da Fonseca G.A.B. & Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
21. Ndayishimiye J., Bigendako M.J., Lejoly J., Sibomana S., Koffi J.K. & Bogaert J. (2010). Modèle de distribution des Mimosoideae de l'Afrique Centrale. In: X. van der Burgt, J. van der Maesen & J.-M. Onana (eds), Systématique et Conservation des Plantes Africaines, pp. 245-252. *Royal Botanic Gardens*, Kew.
22. Noss R. (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4, 355–364.
23. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Louks C.J., Allnut T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P. & Kassem H.R. (2001). Terrestrial ecoregions of the World: a new map of life in Earth. *Bioscience*, 51(11): 933-938.
24. Ozenda P. (1964). Biogéographie végétale. Editions Doin.8, Place de l'Odéon, Paris
25. Poore D. & Sayer J (1996). La gestion des régions *forestières* tropicales humides. Directives écologiques. UICN, Glang, Suisse et Cambridge, UK. (2nd édition).
26. Ramade, F. (1994). Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. 2ème édition

27. Robyns W. (1948). Les territoires phytogéographiques du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. Atlas général du Congo Belge, Académie Royale des Sciences Coloniales, Bruxelles, Belgique.
28. Ross J.H (1981) Analysis of the African Acacia species: their distribution, possible origins and relationships. *Bothalia*, 13 : 389-413.
29. Schnell R. (1971). Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux: les milieux-les groupements végétaux. Géobiologie Ecologie Aménagement tome 2. Gauthier-Villars, Paris.
30. Shafer C.L. (1990). Nature Reserves. Island Theory and Conservation Practice. (Smithsonian Institution Press: Washington).
31. Takhtajan A.L. (1986). The Floristic Regions of the World. UC Press, Berkeley
32. Troupin G. (1966). Etude phytocénologique du Parc National de l'Akagera et du Rwanda Oriental. Recherche d'une méthode d'analyse appropriée à la végétation d'Afrique intertropicale. Publication n° 2. INRS, Butare, République Rwandaise.
33. Whittaker RJ (1998) Island biogeography Oxford University Press. White F. (1965). The savanna woodlands of the Zambezian and Sudanian Domains. An ecological and phytogeographical comparison. *Webbia*, 19: 651-681
34. White F. (1979). The Guineo-Congolian region and its relationships to other phytochoria. *Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique*, 49: 11-55.
35. White F. (1983). The vegetation of Africa: a descriptive memoir to accompany the Unesco/Aetfat. Unesco vegetation map of Africa. *Natural Resources Research* n°20. Unesco. Paris, France.
36. White F. (1986). La Végétation de l'Afrique, Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique. Unesco/AETFAT/UNESCO.
37. Wilson E.O. & Willis E.O. (1975). Applied biogeography. Pages 522–534 in M. L. Cody and J. M. Diamond, editors. Ecology and evolution of communities. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA