Université d'Abomey–Calavi (UAC)

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

Centre Inter-facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED)

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP)
"Espace; Cultures et Développement"

Thèse de Doctorat Unique

Présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi

Option : **Géographie et Gestion de l'Environnement**

Spécialité : **Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace**

N° d'enregistrement : 106 - 12 / EDP / FLASH/ UAC

LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN DE LA PENDJARI AU BENIN : Analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels

Présenté par : **M'Po Edouard IDIETI**

*Soutenue publiquement devant le **Jury international composé de** :*

Président : **Euloge K. AGBOSSOU,** Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi

Rapporteurs :

- Directeur de thèse : **Michel BOKO,** Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi
- Codirecteur de thèse : **Etienne DOMINGO,** Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi

Examinateurs : **- Jean-Marie DIPAMA**, Maître de Conférences, Université de Ouagadougou
- Fulgence AFOUDA, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi
- Madjidou OUMOROU, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi
- Brice Agossou TENTE, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi

Date de Soutenance : ***23 octobre 2012***

Mention : ***Très Honorable avec Félicitation du jury***

Dédicace

A

Tous les acteurs de la gestion des ressources naturelles.

Sommaire

Dédicace 1
Remerciements 3
Sigles et acronymes 4
Résumé 6
Abstract 7

INTRODUCTION GENERALE 8

CHAPITRE 1 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE 13
1-1- Présentation géographique du secteur d'étude 14
1-2- Description du milieu physique du bassin versant de la Pendjari 16
1-3- Description du milieu humain 29

CHAPITRE 2 : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE 39
2-1- Cadre théorique 40
2-2- Cadre méthodologique 52

CHAPITRE 3 : LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI .. 86
3-1- Hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 87
3-2- Caractéristiques des hydro-écorégions identifiées 92

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI 99
4-1- Déterminants environnementaux de la dynamiques des écosystèmes naturels 100
4-2- Déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels 124

CHAPITRE 5 : STRATEGIES D'ADAPTATION A LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI 147
5-1- Stratégies endogènes 148
5-2- Mesures réglementaires et institutionnelles de la gestion durable des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 164

CONCLUSION GENERALE 171

Bibliographie 175

Annexes 196

Table des Matières 227

Remerciements

Ce travail de recherche sur « *Les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari : analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels* » a pu être réalisé grâce à l'appui scientifique, matériel et moral de plusieurs personnes.

Je voudrais remercier mon directeur de thèse, monsieur Etienne DOMINGO, Maître de conférences au Département de Géographie et Aménagement du Territoire à l'Université d'Abomey-Calavi, qui a accepté d'encadrer mes travaux de recherche pour la thèse. Il a fait preuve à mon égard d'une grande disponibilité et m'a donné de précieuses orientations scientifiques pour la réalisation de ce travail.

Je voudrais remercier particulièrement le professeur Michel BOKO, Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire «Espaces, Cultures et Développement », Directeur du Centre Inter-facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), coordonnateur du projet ESPRIT-EDULINK. Il m'a permis de bénéficier de l'appui financier de ce projet pour cette thèse. Malgré ses multiples occupations, il a accepté de superviser ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à l'endroit de tous les enseignants qui ont œuvré à ma formation universitaire, ceux de l'Ecole Doctorale et ceux du Département de Géographie et Aménagement du Territoire, en particulier :

- messieurs Constant HOUNDENOU, Expédit Wilfrid VISSIN et Ernest AMOUSSOU, pour leur précieuse disponibilité, leurs conseils et leurs orientations méthodologiques ;
- messieurs Euloge OGOUWALE, Ibouraïma YABI, Henri TOTIN, pour leurs précieux conseils et orientations dans les travaux de terrain et le traitement des données.

Je remercie également monsieur Maman-Sani ISSA pour son indéfectible appui dans tous les domaines (scientifique, matériel, financier, etc.).

Je remercie mes amis Gildas BOKO, Joseline Lisbeth GODONOU du Secrétariat Exécutif de l'Association Ouest Africaine d'Evaluation Environnementale (AOAEE), pour leur soutien moral, leur apport technique et scientifique, Imorou OUOROU BARRE et Barnabé DAHORI, pour leurs précieuses aides lors de mes travaux d'enquêtes de terrain.

Enfin, merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail.

Sigles et acronymes

ASECNA : Agence pour la Sécurité et de Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar

AELB : Agence de l'Eau Loire-Bretagne

AOAEE : Association Ouest-Africaine d'Evaluation Environnementale

ASTER DEM : Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Digital Elevation Model

CENALA : Centre National de Linguistique Appliquée

CENAP : Centre National d'Agro-Pédologie

CENATEL : Centre National de Télédétection et de Cartographie Environnementale.

CeRPA : Centre Régional de Promotion Agricole

CIFRED : Centre Inter-facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DG-Eau : Direction Générale de l'Eau (Ex- Direction de l'Hydraulique)

DMN : Direction de la Météorologie Nationale

DPNP : Direction du Parc National de la Pendjari

EDP : Ecole Doctorale Pluridisciplinaire

ESPRIT : Environmental Sustainability : Priority Education and Research In the Tropics

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FLASH : Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat

GTZ : Gesellschaft Technische Zusammemarbeit

IGN : Institut Géographique National

INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique

IRD : Institut de Recherches pour le Développement (Ex- ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer)

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

JOCE : Journal officiel des Communautés Européennes

LACEEDE : Laboratoire Pierre Pagney : Climat, eau, Ecosystèmes et Développement

LHA : Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

MES : Matières En Suspension

O_2 : Dioxygène

OBRGM	:	Office Béninois de Recherche Géologique et Minière (Ex- OBEMINES : Office Béninois des Mines)
ONG	:	Organisation Non-Gouvernementale
PAPG-PNP	:	Plan d'Aménagement Participatif et de Gestion du Parc National de la Pendjari
PAZH	:	Programme d'Aménagement des Zones Humides
PDC	:	Plan de développement Communal
PGE	:	Projet de Gestion Environnementale
PGFTR	:	Projet de Gestion des Forêts et des Terroirs Riverains
PGRN	:	Projet de Gestion des Ressources Naturelles
pH	:	Potentiel d'Hydrogène
SDAGE	:	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SNG	:	Structure Non-Gouvernementale

Résumé

Le bassin versant de la Pendjari à l'exutoire de Porga est confronté à la dégradation des écosystèmes naturels. Ce phénomène est influencé par de nombreux facteurs d'ordre socio-économiques et environnementaux. Toutes les études réalisées sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques dans le bassin versant de la Pendjari, se base uniquement sur les statistiques hydrologiques et pluviométriques. La présente étude a pour but de contribuer à la compréhension du fonctionnement physique et écologique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari à travers l'approche des hydro-écorégions (HER). L'objectif est d'identifier et de cartographier les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari, puis d'analyser les déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions identifiées.

Pour atteindre cet objectif, la méthode cartographique est appliquée en utilisant les données disponibles. Deux hydro-écorégions de niveau 1 sont identifiées dans le bassin versant de la Pendjari au Bénin (l'HER de Gourma et l'HER de l'Atacora) à partir des critères primaires de relief, de géologie et de climat. La caractérisation de ces HER s'est appuyée sur les variables de ces critères associées à celles de la pédologie, de l'hydrographie et des caractéristiques physico-chimiques des eaux.

L'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels a permis d'en distinguer quatre catégories :

- les déterminants hydro-climatiques. Les deux HER identifiées ont le même type de régime pluviométrique et hydrologique, les mêmes ruptures annuelles de stationnarité au cours de la période 1960-2006. Par contre elles sont différemment affectées par les déficits hydriques sur la même période. Pour un déficit pluviométrique observé de 8,3 % dans l'HER de Gourma et de 12,9 % dans l'HER de l'Atacora, on enregistre un déficit d'écoulement de 47,8 % dans les deux HER. Le déficit de l'infiltration plus élevé dans de l'HER de l'Atacora (35,9 %) que dans l'HER de Gourma (16,6 %) doit son explication non seulement au déficit pluviométrique mais aussi à la nature du substratum géologique.
- les déterminants géophysiques. Ici, les pentes de relief sont faibles dans l'HER de Gourma (0,2% à 4,3%) avec un substratum géologique fait des *dépôts sédimentaires argilo-sableux,* et fortes dans l'HER de l'Atacora (4,3 % à 77 %) avec des roches métamorphiques composées de *grès, de quartzites, de schistes, de micaschistes, de g*neiss. Cela explique le fait que le coefficient d'écoulement soit plus élevé dans l'hydro-écorégion de Gourma (6,2 %) que dans celui de l'Atacora (5,4 %).
- les déterminants socio-culturels. Il s'agit de la croissance démographique et ses conséquences, les pratiques cultuelles, les faits historiques, etc.
- les déterminants économiques. Ce sont les activités économiques : l'agriculture, l'élevage, la production du charbon de bois, la chasse, la pêche, etc.

L'analyse des stratégies d'adaptation à la dynamique des écosystèmes naturels dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari révèle que les stratégies endogènes d'adaptation aux contraintes climatiques et hydriques visent à protéger et à conserver les ressources en eau. Celles relatives à l'adaptation aux contraintes pédo-géologiques et topographiques visent l'amélioration des rendements agricoles. Les stratégies endogènes de contrôle et de maîtrise de l'eau de ruissellement concourent à la lutte anti-érosion et la conservation des sols. Les stratégies exogènes, par ailleurs modernes, sont les mesures institutionnelles et réglementaires de la gestion durable des écosystèmes naturels. Elles sont constituées par l'ensemble des textes et conventions en vigueur en République du Bénin et sur le plan international en matière de protection, de conservation et de gestion de l'environnement et des ressources naturelles.

Mots clés : *Hydro-Ecorégions, déterminants, dynamique, écosystèmes naturels, bassin versant de la Pendjari*

Abstract

Natural ecosystems present in the Pendjari watershed face a severe degradation phenomenon due to socioeconomic and environmental factors. Most of the researches focused on the functioning of aquatic ecosystems in the area are solely based on hydrologic and rainfall data.

The present thesis uses a hydro-ecoregion approach in order to bring a better understanding to the ecological and physical functioning of natural ecosystems in the Pendjari catchment. The main goal is to identify and map the different hydro-ecoregions of the Pendjari watershed. Afterwards, socioeconomic and environmental drivers of the dynamic of the natural ecosystems have been analysed.

Available data coupled with mapping have been the basis of the methodology used to reach this goal. Two first-level hydro-ecoregions (HER) have been identified in the study area: the Gourma HER and the Atacora HER, using criteria like topography, geology and climate. Other criteria, among which soils, hydrography and water physicochemical properties, have been used to describe those HER.

Those analysis reveal four main types of drivers:

- Hydro-climatic drivers : although having the same rainfall and hydrologic patterns and the same annual stationnarity breaks from 1960 to 2006, the two HER identified in the study area, are not affected in the same way by hydric deficits. Rainfall deficit was 8.3 % in the Gourma HER and 12.9 % in the Atacora HER, while the hydric deficits were 47.8 % in the two HER. The higher deficit in water infiltration in the Atacora HER (35.9 %) is not only related to rainfall deficit but also to the type of substratum.
- Geophysic drivers: slopes values are quite low in the Gourma HER (0.2 to 4.3 %) with a substratum made of sand and clay deposits. In the Atacora HER, slopes have a high value (4.3 to 77 %) and the substratum is made of sandstone, schist, micaschist and gneiss. This is the main reason behind the difference in the flow coefficient which is lower in the Atacora HER (5.4 %) than in the Gourma HER (6.2 %).
- Sociocultural drivers: namely population growth, with it corollaries, religion, history, etc.
- Economic drivers: mainly agriculture, breeding, hunting, fishing, local and international demands in dairies products.

An analysis of adaption strategies, developed by population in the study area, shows that endogenous adaption strategies related to climate and water constraints, aim at the preservation and conservation of water resources. Adaptation strategies related to soils, geology and landscape constraints aim at improving yields. Endogenous strategies regarding water engineering help preventing erosion and improve soils conservation. Exogenous or modern strategies are institutional and regulatory measures regarding sustainable management of natural ecosystems. These strategies are composed of national and international regulations on environmental protection.

Keywords: *Hydro-ecoregions, drivers, dynamic, natural ecosystems, Pendjari catchment*.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La dégradation des écosystèmes naturels constitue l'un des sujets les plus préoccupants de nos jours. Dans les zones sub-sahariennes, les écosystèmes sont soumis à des perturbations de toutes sortes (pertes irréversibles de la diversité biologique, feux de végétation, modification des habitats naturels, etc.). Pour le Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat (GIEC, 2007), si l'augmentation de la température excède 2°C, près de 20 à 30 % des espèces végétales et animales seront menacées d'extinction. Dans ces conditions, d'importants changements dans la structure et la fonction des écosystèmes sont attendus, ce qui aura des conséquences négatives sur la biodiversité, et les biens et services rendus par ceux-ci, notamment l'eau et la nourriture. L'Afrique en général et le Bénin en particulier sont confrontés au problème de plus en plus aigu et généralisé de dégradation de l'environnement.

De nombreuses études (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Issa, 1995 ; Ogouwalé, 2004) ont montré que la plupart des écosystèmes des différentes régions agro-écologiques au Bénin sont aujourd'hui marqués par une dégradation du fait de la forte variabilité climatique associée à une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes (sécheresse, inondations, etc.) au cours des trois dernières décennies (Issa, 2012).

Le bassin versant de la Pendjari à l'exutoire de Porga en République du Bénin, partie intégrante d'une de ces régions agro-écologiques, n'échappe pas à ces problèmes. En effet, selon les études réalisées par la Direction de l'Hydraulique (actuelle Direction Générale de l'Eau) en 2000, le bassin versant de la Pendjari est façonné sur le socle cristallin. La dynamique de l'eau y est influencée par une géologie assez rigide rendant difficile l'infiltration et un relief accidenté (la chaîne de l'Atacora aux pentes fortes) qui accentuent l'écoulement. Les pratiques agricoles encore dominées par une agriculture extensive contribuent à la désertification (déforestation, appauvrissement des sols, etc.) et en conséquence au déficit hydrique (Idiéti, 2004). D'après Ouassa Kouaro (2003), la pression démographique est de plus en plus forte "autour de la réserve de la biosphère de la Pendjari". Selon Ogouwalé (2006), le contexte climatique est influencé par une irrégularité et une diminution pluviométrique saisonnière. Au plan hydrologique, certains affluents des cours d'eau et bas-fonds sont en voie de disparition. Pourtant, les populations vivent parfois des inondations spontanées à certains endroits de la vallée de la rivière Pendjari. Ces inondations sont dues au débordement du cours d'eau en période de hautes eaux (Idiéti, 2009).

Face à toutes ces menaces, l'accessibilité actuelle des ressources en eau et la satisfaction des besoins (biologiques et socio-économiques) déjà faibles, sont gravement compromises et le problème d'eau se pose en termes de sa maîtrise. L'amélioration de la gestion des écosystèmes naturels (aquatiques et terrestres) paraît être le meilleur moyen pour atteindre l'objectif du 21ème

siècle qui est de satisfaire les besoins en eau de qualité et de protéger l'Environnement (Soulet, 2001). D'après Ouassa Kouaro (2008), la protection et la restauration des écosystèmes vulnérables apparaissent comme une préoccupation majeure des Etats et des agences de développement.

C'est dans ce souci que la 19ème session extraordinaire de l'Assemblée Générale des Nations Unies (FAO, 1997) a donné l'alerte sur les menaces liées à l'eau et souligné un besoin urgent : (i) de politiques et de programmes de gestion de l'eau, (ii) d'intensification de la coopération régionale et internationale en matière de transfert de technologies et, (iii) d'amélioration de la capacité de gestion des données scientifiques, sociales et environnementales pour les gouvernements et les institutions internationales. Cette protection et la restauration des écosystèmes requièrent la connaissance et la maîtrise des différents facteurs de modification et de dégradation de ces écosystèmes. Pour ce faire, la 6ème session de la Commission pour le Développement Durable (décembre 1997 à avril 1998) a invité les gouvernements à se pencher sur les problèmes liés à l'eau en attribuant plus d'attention à l'hydrologie en général et à la capacité à évaluer la disponibilité et la variabilité des ressources en eau.

En application des recommandations de la 19ème session extraordinaire de l'Assemblée Générale des Nations Unies et de la 6ème session de la Commission pour le Développement Durable, l'Union Européenne élabore et publie la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) qui pose les jalons d'une nouvelle politique de l'eau harmonisée à l'échelle européenne. Cette directive introduit la notion de masse d'eau qui doit présenter une certaine homogénéité du point de vue des caractéristiques naturelles (pour que les conditions de référence y soient homogènes) et du point de vue des perturbations exercées par les activités humaines (pour que l'état constaté y soit homogène) (AELB, 2004). Dans ce cadre, de nombreux travaux de régionalisation des écosystèmes naturels notamment aquatiques et de typologie des eaux de surface ont été réalisés dans plusieurs pays européens et américains (France, Martinique, Guyane, Belgique, Allemagne, Espagne, etc.). Tous ces travaux ont utilisé la même approche, celle des Hydro-Eco-Régions (HER). Une approche dont la méthode permet d'atteindre l'objectif de la DCE qui est de regrouper des milieux aquatiques homogènes du point de vue de certaines caractéristiques naturelles (relief, géologie, climat, géochimie des eaux, débit, etc.), qui ont une influence structurante sur la répartition géographique des organismes biologiques.

Dans le contexte actuel où la gestion durable des ressources naturelles (ressources en eau, végétation, sols, etc.) prend de plus en plus d'importance, il est impérieux d'analyser les facteurs de la dynamique des écosystèmes suivant une nouvelle approche applicable aux milieux

subsahariens. C'est dans cette perspective que nous avons axé notre étude sur les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari.

Les recherches sur « ***Les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari : analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels*** » ont permis d'introduire cette nouvelle approche au Bénin avec les données dont nous disposons et de mieux appréhender les facteurs déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels au sein des entités homogènes et distinctes.

Ce sujet s'insère dans les objectifs du projet ESPRIT-EDULINK au CIFRED, dont l'étude a bénéficié l'appui matériel et financier. Ces objectifs sont formulés comme suit :

Objectif global du projet :

Contribuer à la durabilité écologique et agricole dans les zones arides au Bénin, au Burkina Faso et au Cameroun dans un contexte de croissance démographique et le changement climatique.

Objectifs spécifiques du projet :

- Renforcer la gestion du réseau interinstitutionnel des centres d'Etudes environnementales au Bénin, Burkina-Faso et le Cameroun ;
- Renforcer par la participation commune au développement de la recherche et à des cours entre les centres africains associés et les pays européens du projet,
- Améliorer la qualification du corps enseignant des trois Centres d'Etudes,
- Renforcer l'expertise stratégique du Bénin, du Burkina-Faso et du Cameroun dans la gestion des terres fermes par la disponibilité d'une base de connaissances régulièrement mise à jour.

Pour contribuer au développement socio-économique des populations des bassins du Nord Bénin, les recherches du CIFRED permettent aux habitants de la zone de prendre conscience des impacts de leurs diverses activités d'exploitation des terres sur les ressources en eau et les écosystèmes naturels.

Ces recherches visent à contribuer au changement de comportement des populations par l'adoption des nouvelles techniques appropriées pour une utilisation et une gestion durables des terres afin de réduire considérablement l'ensablement des cours d'eau et leur pollution.

Elles visent également à aider les décideurs à connaître les potentialités et les menaces sur les ressources en eau du bassin, ce qui pourra les aider dans la conception et la mise en œuvre de activités de gestion rationnelle des écosystèmes naturels et de l'eau pour un développement local durable à travers :

- la proposition de systèmes culturaux moins vulnérables ;
- le zonage agro climatologique pour la diversification des cultures ;

- la protection des écosystèmes naturels qui soutiennent le bien être des communautés rurales (sol, végétation, etc.).

La présente étude est structurée en cinq chapitres. Le premier chapitre présente le cadre géographique. Le second le cadre théorique et méthodologique. Le troisième décrit les hydro-écorégions identifiées dans leurs caractéristiques. Le quatrième chapitre expose l'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels. Le cinquième chapitre examine les stratégies d'adaptation à la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions identifiées.

CHAPITRE 1 :

CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

Introduction partielle

L'objectif de ce chapitre est d'analyser les réalités géophysiques et socio-économiques du bassin versant de la Pendjari au Bénin. Il y est présenté la localisation géographique et la description des caractéristiques climatiques, topographiques, géologiques, pédologiques, de la végétation ainsi que les caractéristiques démographiques et socio-économique du bassin versant de la Penjari. Cette description permet de comprendre l'identification des hydro-écorégions et l'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels.

1-1- Présentation géographique du secteur d'étude

Le bassin versant béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga, est la partie du bassin versant de la Volta qui s'étend sur le territoire de la République du Bénin. Situé entre les latitudes 10°15' et 11°30' nord et les longitudes 0°53' et 2°05' est, il est localisé au nord-ouest de la République du Bénin en Afrique de l'Ouest. Il s'étend sur une superficie de 1001,761 km^2 entre la chaîne de l'Atacora et la plaine de la Pendjari encore appelée plaine de Gourma. Il est limité au nord et nord-ouest par le Burkina Faso, à l'est par le bassin versant béninois du Niger et au sud et sud-ouest par le bassin versant de la Kéran (figure 1). Les communes concernées sont : Boukombé, Cobly, Matéri, Tanguiéta, Natitingou, kouandé, Kèrou.

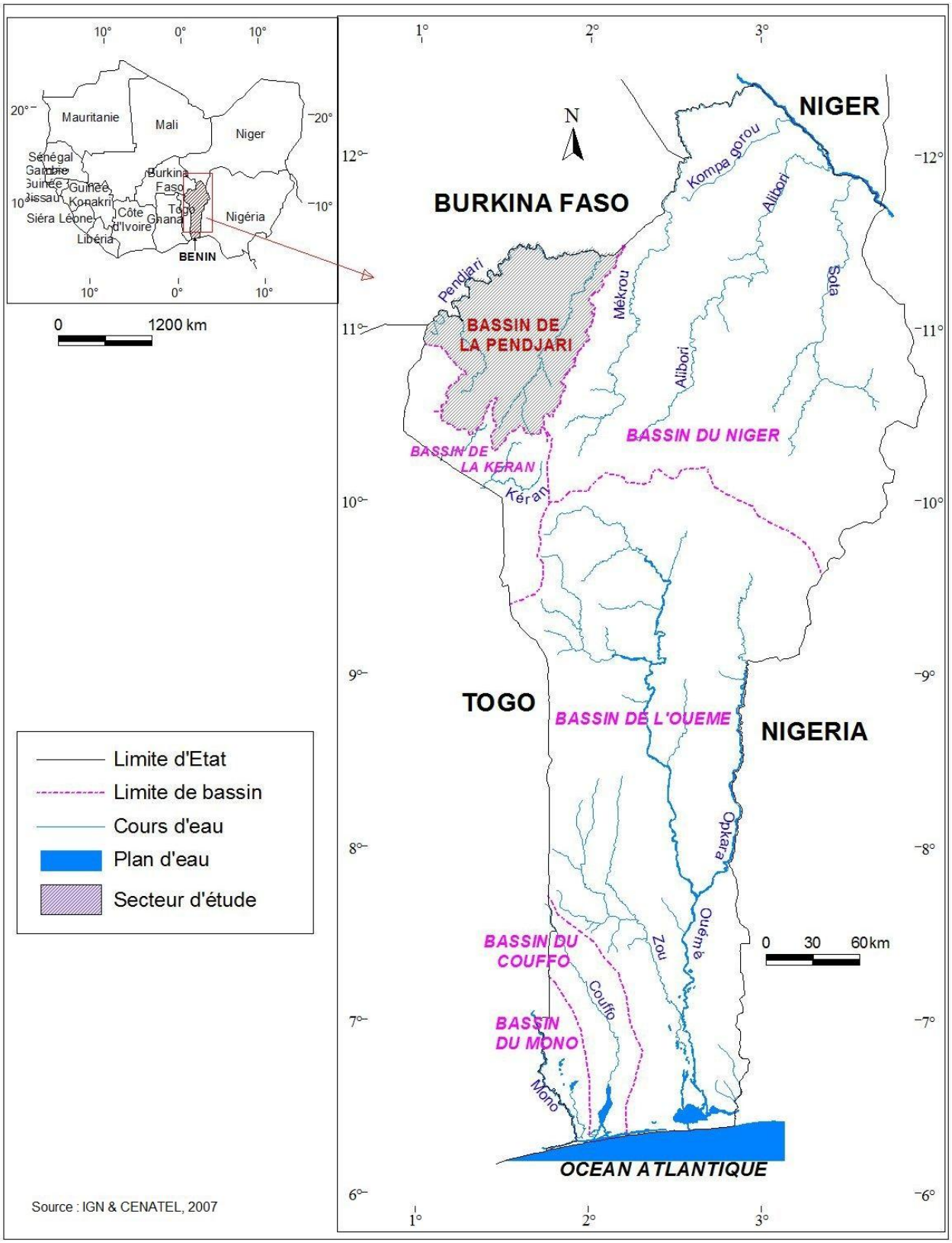


Figure 1: *Situation géographique du bassin versant béninois de la Pendjari*

1-2- Description du milieu physique du bassin versant de la Pendjari

La description du milieu physique est la présentation des caractéristiques géologiques, pédologiques, topographiques, hydrographique et de la végétation sans oublier le fondement climat du bassin versant de la Penjari.

1-2-1- Caractéristiques topographiques majeures du bassin versant de la Pendjari

Le relief du bassin versant de la Pendjari est constitué de deux grandes unités topographiques que sont : la chaîne de l'Atacora et la plaine de Gourma.

- La ***chaîne de l'Atacora*** constituée de schistes, de quartzites, de gneiss et de grès, les pentes y sont très fortes et les dénivelés importants. La chaîne culmine à 640 m au-dessus de la plaine de Gourma du côté ouest. Les cours d'eau, très encaissés, possèdent parfois un lit majeur étroit de quelques mètres au-dessus du niveau d'étiage. A la hauteur de Toukountouna, la chaîne de l'Atacora se subdivise en deux chaînons qui encadrent la haute plaine. Celle-ci s'élargit et s'incline de 400 m à moins de 200 m du sud-ouest vers le nord-est (Agbossou & Okoundé, 2001 ; Idiéti, 2009). "La largeur de cette chaîne, orientée nord-nord-est / sud-sud-ouest, varie de 5 km à l'ouest de Kérémou à 45 km dans la région de Kouandé. Il faut préciser que la région traversée par cette chaîne dépasse largement le nord-ouest du Bénin. La chaîne de l'Atacora prend naissance à la confluence des frontières du Burkina Faso, du Niger et du Bénin, traverse le nord-ouest du Bénin en écharpe, se prolonge au Togo où elle prend le nom de « Monts Togo » et s'abaisse vers la côte de l'Océan Atlantique au sud-est du Ghana où elle est connue sous le nom de «Akwapim Range»" (Adame et Boko, 1983, 1993).

- la ***plaine du Gourma*** a une topographie de longs glacis. Les rivières importantes ont un lit mineur large, très plat et un lit majeur à peine marqué, entaillant les schistes altérés. Les affluents des rivières ne possèdent pas en général de lit mineur. A proximité de la Pendjari et au nord-est de la route Porga-Tanguiéta, la topographie d'environ 200 m d'altitude est à peine dominée par quelques cuirasses qui marquent les restes du bas glacis aujourd'hui démantelé.

Entre la chaîne et la plaine se s'étale ***une pénéplaine*** formée de petites collines d'au plus 400 m d'altitude. Ces collines composées des grès quartzites et jaspes du Buem s'abaissent progressivement du sud-ouest au nord-est et disparaissent au-delà de Dassari, mais sur le terrain, les grès quartzites continuent d'affleurer. Au nord de la route de Tayakou–Kobly, les cours d'eau à pentes faibles coulent perpendiculairement à la zone des collines du Buem. La figure 2 présente les différents aspects du relief du bassin versant de la Pendjari.

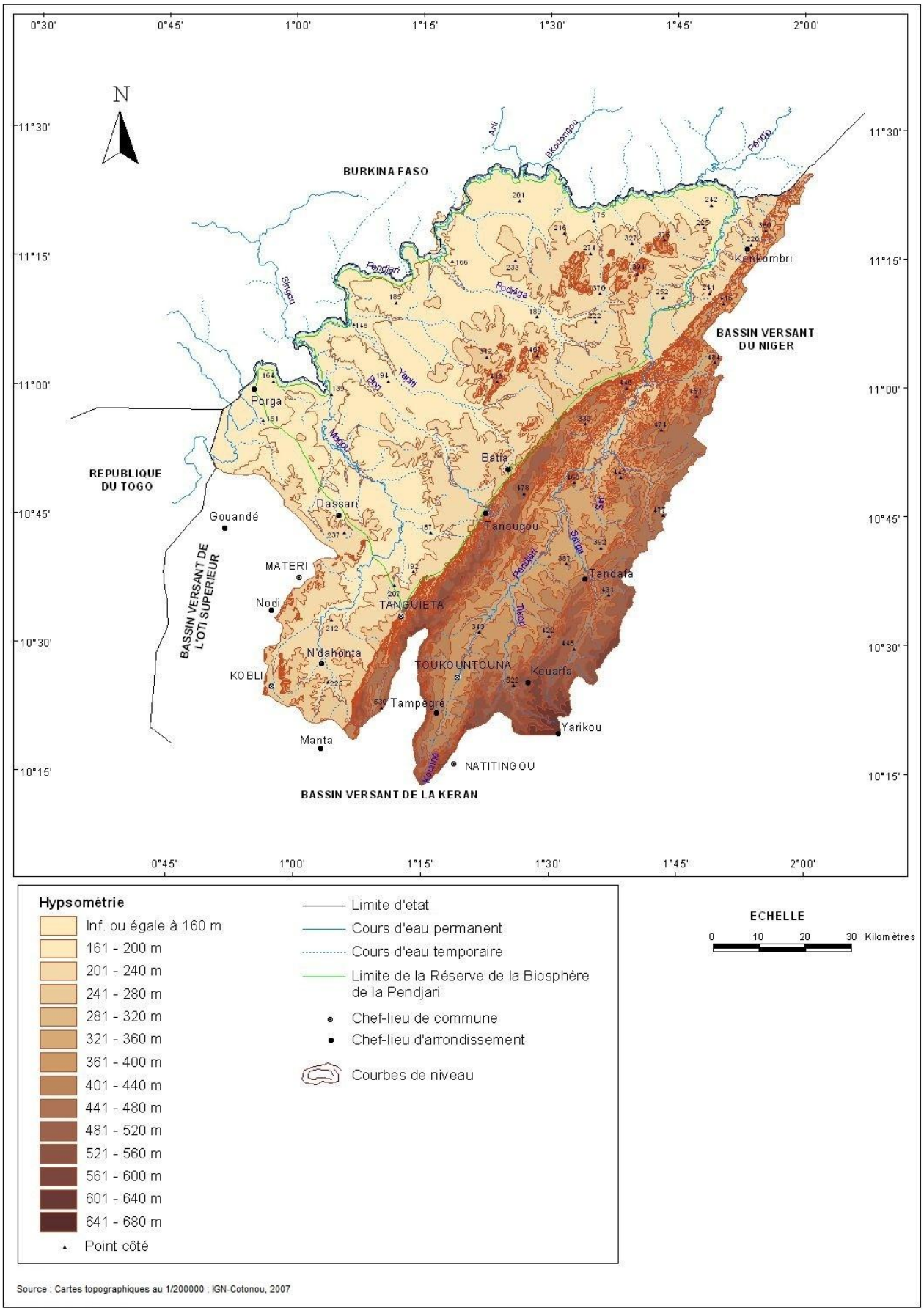


Figure 2 : *Relief du bassin versant béninois de la Pendjari*

L'analyse de la formation de la chaîne de l'Atacora et de la plaine de Gourma permet d'établir les liens entre la géologie et le relief, la concordance de ces liens. En effet, Affian (1986) a démontré que la chaîne de l'Atacora a été formée par des plissements tectoniques. Pour lui, l'Atacora, […] est le siège d'un po1ymétamorphisme qui a engendré plusieurs familles de plis. On note d'abord des plis isoclinaux de taille centimétrique déversés vers l'ouest, ensuite des plis couchés de plus grands rayons de courbure avec une schistosité de fracture et enfin des plis à plans axiaux verticaux. Blivi (1993) complète que "l'unité de 1'Atacora connaît trois phases de plissement; les deux premiers sont importants, engendrant des plis isoclinaux et des chevauchements accompagnés de métamorphisme épizonal".

Telles ont été les origines géologiques de la chaîne de montagnes de l'Atacora. Elle est contigüe au bassin de la Volta (Blivi, 1993) dont fait partie la plaine de Gourma. Le bassin des Volta situé dans le sud-est de la dorsale de Man a grossièrement la forme d'une "demi-poire", jouxtant la chaîne des Dahoméyides sur presque toute sa longueur. Selon Blivi (1993), la tectonique du bassin des Volta, liée à l'orogenèse panafricaine, entraîne une forme dissymétrique du bassin car la partie orientale est intensément plissée formant la marge occidentale des Dahoméyides. Les Dahomeyides étant l'ensemble constitué par les formations du Buem, de 1'Atacora et de la plaine du Bénin (Affian, 1986). Ces différentes unités topographiques influencent fortement la répartition de l'eau à la surface du bassin à travers le réseau hydrographique.

1-2-2- Réseau hydrographique du bassin versant béninois de la Pendjari

Le réseau hydrographique du bassin versant de la Pendjari est contrôlé par la rivière *Pendjari* qui prend sa source à Perpoyakou (dans la commune de Natitingou), se dirige vers le nord, traverse la chaîne de l'Atacora puis retourne vers le sud-ouest dans le Parc et coule vers le sud au Togo sous le nom de "Oti" (Le Barbe *et al.*, 1993 ; Idiéti, 2009). Elle est alimentée par de nombreux affluents et sous affluents pour la plupart temporaires. Il s'agit entre autres des rivières *Magou/Tiélé, Yatama, Yatibi, Podiéga* sur la rive gauche, *Sarga, Tikou* sur la rive droite (Le Barbe *et al.*, 1993 ; Agbossou, 2001 ; CENAGREF, 2009).

Ces cours d'eau présentent des berges abruptes et leurs lits comportent des alluvions. Ces dépôts pauvres en argile sont perméables et ne favorisent pas la rétention des eaux capable de pérenniser les écoulements.

Au cours de la saison sèche, seule la rivière *Yatama* (alimentée par la cascade de Tanougou) a un écoulement permanent ; même la Pendjari tarit en plusieurs endroits (Agbossou & Okoundé, 2001).

En plus des cours d'eau, le bassin versant béninois de la Pendjari est riche en mares et sources disséminées dans la Réserve de la biosphère de la Pendjari (RBP). La figure 3 présente le réseau

hydrographique du bassin versant de la Pendjari. Un tel réseau hydrographique structuré par un relief accidenté, draine ses eaux sur un substratum géologique qu'il convient de décrire.

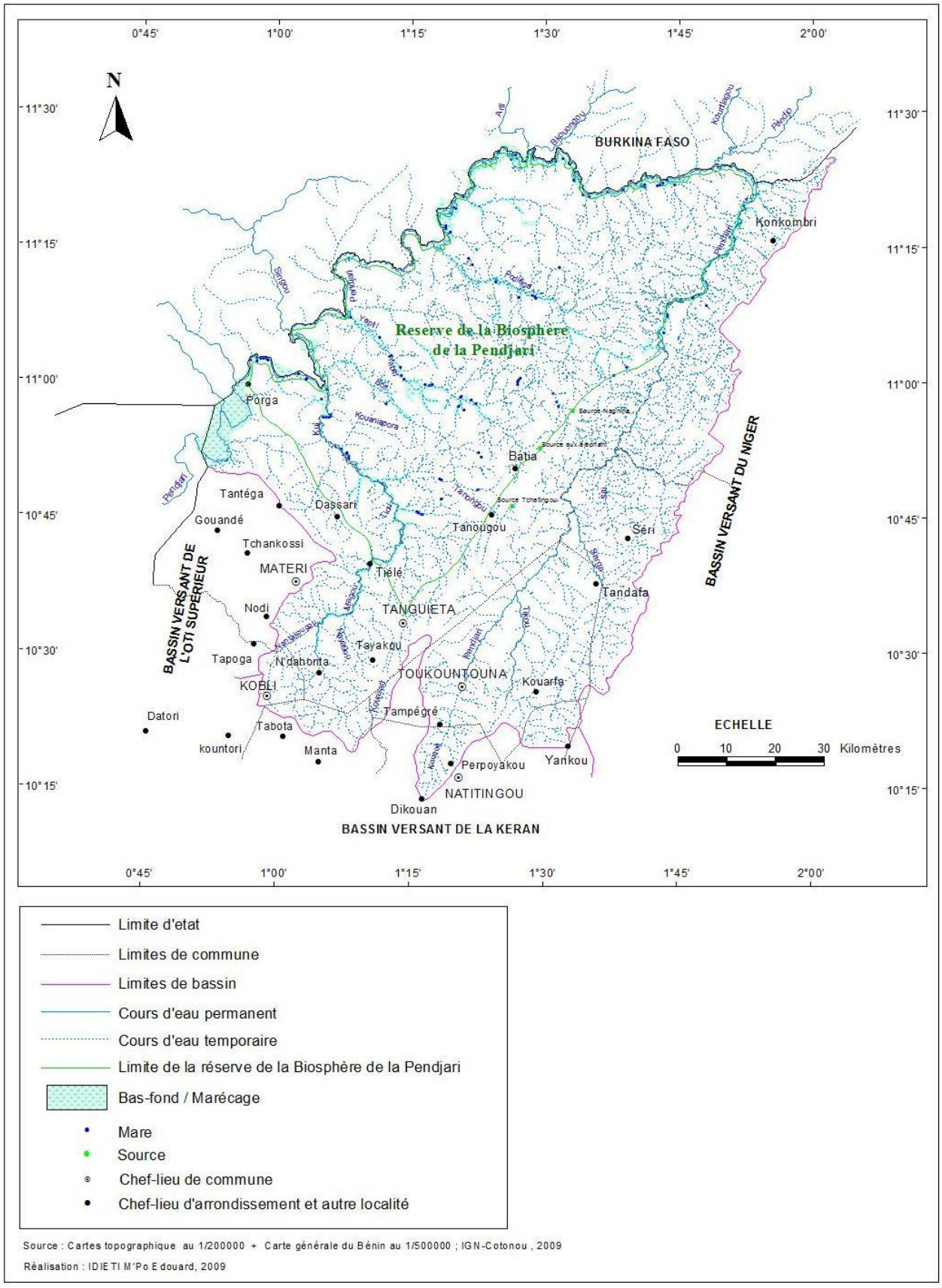


Figure 3 : R*éseau hydrographique du bassin versant de la Pendjari*

1-2-3- Caractéristiques géologiques du bassin de la Pendjari

Selon les études menées par l'OBRGM (1984, 1989 et 1995), le bassin versant béninois de la Pendjari repose sur des roches métamorphiques du Précambrien et sur des roches sédimentaires faiblement métamorphiques du Paléozoïque (Cambrien) appartenant à trois séries principales à savoir : la série de l'Atacorien, la série de la Podiéga, et la série de la Pendjari (Figure 15, page 88).

- les formations de la série de l'Atacorien affleurent à l'est du secteur d'étude par dans la chaîne de l'Atacora. Ces formations sont constituées de roches métamorphiques telles que : quartzites, schistes à séricites et quartz, schistes à muscovites et quartz, micaschistes, grès, conglomérats, gneiss à biotites, les gneiss à deux micas, gneiss fins, paragneiss à muscovite, amphibolites à pyroxène et grenat, et filons de pegmatite. Les formations métamorphiques de la série de l'Atacorien constituent une bonne partie de la chaîne de l'Atacora (Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, 1989, 1995). L'attribution de la série de l'Atacorien au Protérozoïque se confirme par le fait qu'elle est recouverte en concordance par les dépôts de la série de Kandé-Boukoumbé. Les roches de la série de Kandé-Boukoumbé affleurent dans le bassin du cours inférieur de la rivière Sarga et près de la confluence de la rivière Kounné.

- Les formations de la série de la Podiéga se trouvent entre Tanguiéta et Dassari et sont parallèles aux formations de l'Atacorien. Ces formations qui appartiennent à l'unité structurale du Buem, sont constituées de roches telles que les micaschistes, les schistes quartzeux, les grès, les quartzites, et les jaspes. Il faut noter que les micaschistes et schistes quartzeux sont des roches à faciès variables, faiblement colorées, plissotées à schistosité bien visible et à pendage moyen à fort. La série de Podiéga affleure dans les collines du Parc de la Pendjari. A l'ouest de l'Atacora affleurent des schistes argileux et des siltites qui ont été attribués à la série de Podiéga, étant associés à des jaspes et à des grès très semblables à ceux des collines du Parc de la Pendjari. Leur position stratigraphique à l'intérieur de la série de la Podiéga est toutefois très incertaine. Les limites de la série sont définies par deux contacts tectoniques probables : à l'est, avec les quartzites atacoriens, à l'ouest, avec la série de la Pendjari (Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, 1989, 1995).

- Quant aux formations de la série de Pendjari, elles affleurent à l'ouest de la chaîne de l'Atacora, notamment dans le périmètre compris entre Tanguiéta et Porga. On y rencontre les roches telles que les argilites, les silts, les grès fins et les dépôts pelliculaires argilo-sableux. Les grès de la Pendjari, au nord de la mare Bali, sont déformés suivant de légers plis à axes subhorizontaux de direction 40-50° NE environ. La déformation peut être mise en relation avec les chevauchements de la série de Podiéga qui, à l'est, limite les grès. La nature du contact reste

toutefois spéculative, vu le manque d'affleurement sur lesquels on peut étudier les rapports entre les deux séries (Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, 1989, 1995).

La figure 4 présente la coupe géologique montrant la succession des différents faciès de la rivière Pendjari à la Chaîne de l'Atacora.

Sous l'effet des facteurs météorologiques, ces différentes séries subissent le processus de la latérisation à l'origine de nombreux plaquages, blocs et gravillons latéritiques rencontrés dans le bassin. Des chevauchements ou charriages des formations de l'Atacorien sur celles du Buem d'une part et du Buem sur la série de la Pendjari d'autre part, sont à l'origine des fractures et des plissements. Ces formations ont une direction SSW-NNE, un pendage E et sont subparallèles entre elles. Les failles et contacts tectoniques constituent l'essentiel du réseau de fracturation.

Vissin (2009) affirme que ces formations géologiques expliquent la nature et les propriétés des sols du bassin qui sont d'une extrême fragilité.

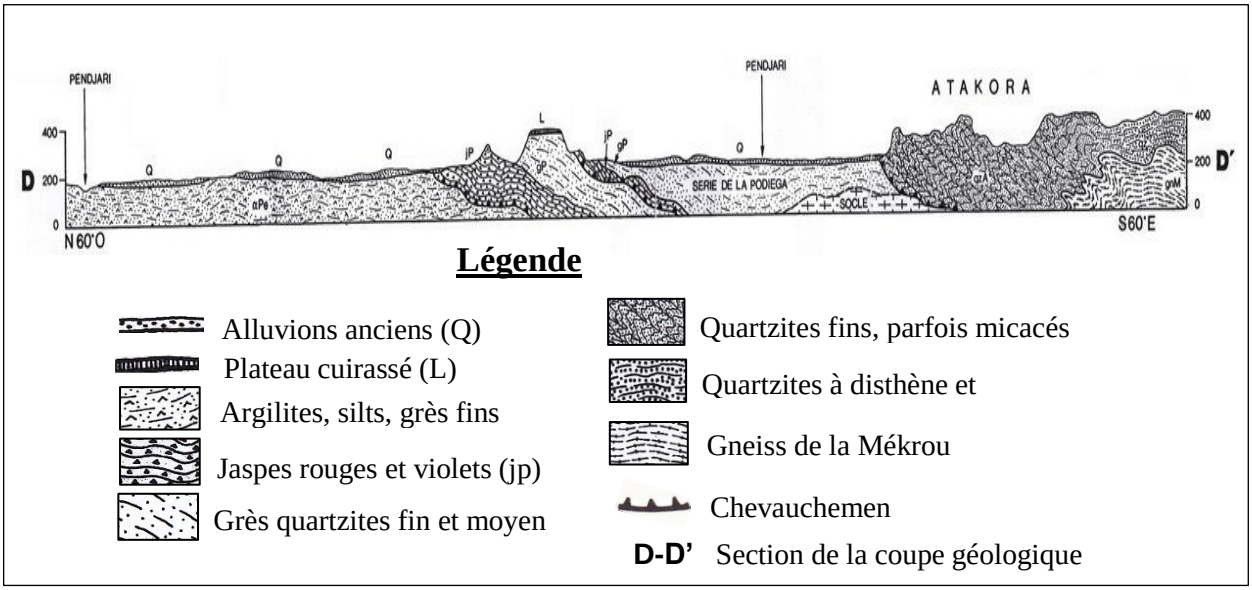


Figure 4 : *Coupe géologique dans le bassin versant de la Pendjari*

Source : Notice explicative de la carte géologique à 1/200000 ; Feuilles Karimama, Porga, Kandi, Malanville ; 1989.

1-2-4- Principaux types de sol et de végétation dans le bassin versant de la Pendjari

Selon Faure (1977), Igué et Boko (1993), et INRAB (2006), les principales caractéristiques des sols du bassin versant de la Pendjari peuvent être résumées ainsi qu'il suit (Figure 5) :

❖ Des sols minéraux bruts dans la plaine de la Pendjari et des sols peu évolués d'apport, hydromorphes, rencontrés sur la plaine alluviale de la Pendjari et sur les quartzites et les micaschistes de la chaine de l'Atacora. Sur ces sols se développent deux principaux types de

formations végétales à savoir : les forêts galeries à *Khaya senegalensis* et *Vitex chrysocarpa* , les forêts galeries à *Cola laurifolia* et les forêts denses sèches à *Anogeisus leiocarpa* et *Diospyros mespiliformis* .

- les forêts galeries à *Khaya senegalensis* et *Vitex chrysocarpa* et les forêts galeries à *Cola laurifolia* sont des forêts denses le long de la rivière Pendjari et des cours d'eau d'une importance moyenne (Yapiti, Bori ou Yatama). Le plus souvent, elles ne forment qu'un rideau d'arbres le long du cours d'eau (CENAGREF, 2009).

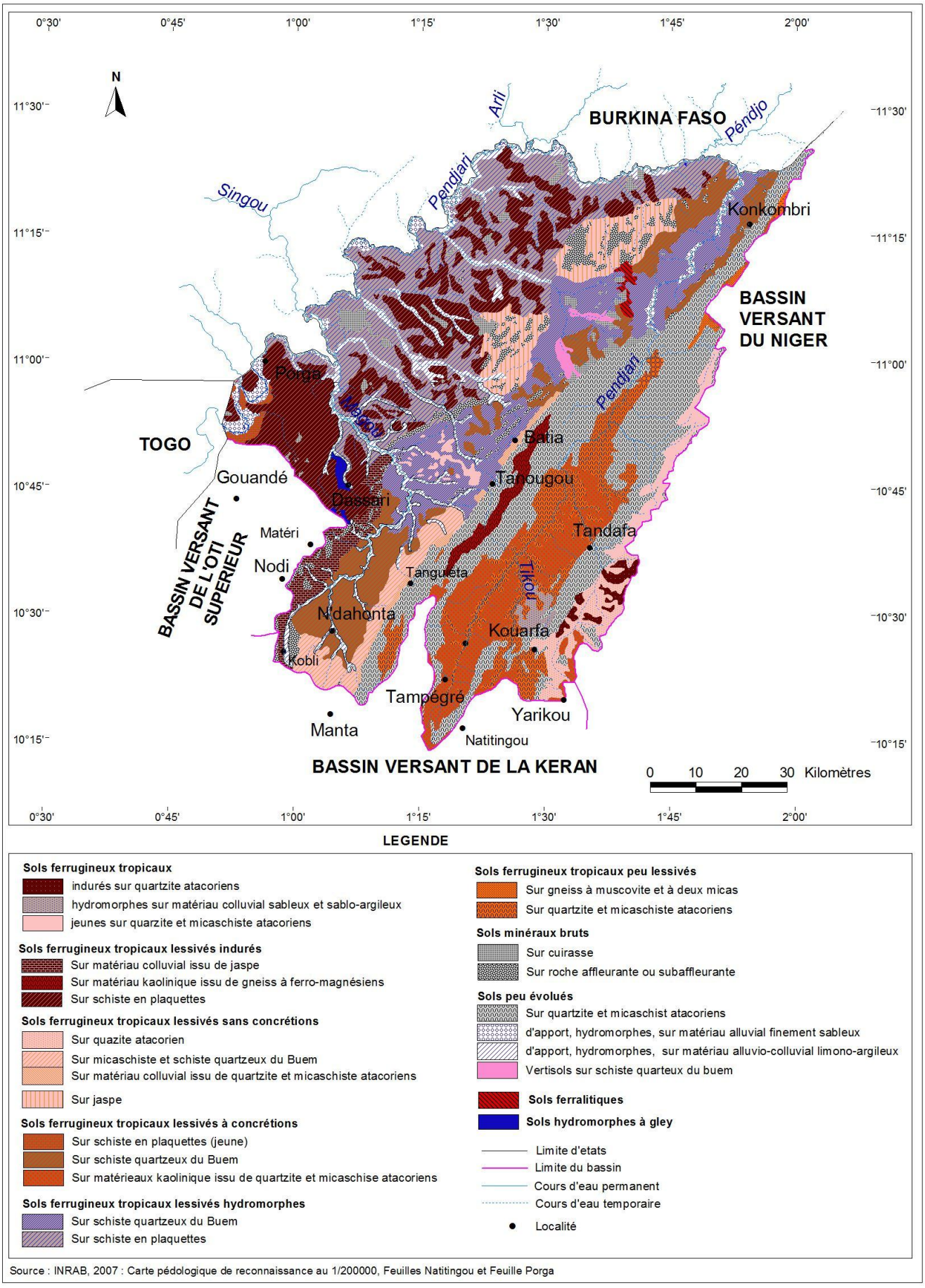
- les forêts denses sèches à *Anogeisus leiocarpa* et *Diospyros mespiliformis* dans les plaines d'inondation sous-jacentes aux forêts galeries. On reconnaît les forêts denses sèches par leurs arbres modérément élevés aux frondaisons (feuillages) serrées. La plupart des arbres des étages supérieurs perdent leurs feuilles en saison sèche. Le sous-bois est formé d'arbustes soit sempervirents, soit décidus. La couche herbacée n'est pas assez riche en graminées (CENATEL, 2003 ; CENAGREF, 2009).

❖ Dans la plaine du Gourma, de Matéri à Tanguiéta dans le Parc, dominent les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur schistes en plaquettes et les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sur schistes en plaquettes, avec quelques îlots de sols minéraux bruts sur cuirasse. Ici, les formations végétales associées sont les savanes arborées et arbustives à *Combretum* spp et à *Acacia gourmaensis* et *Crossopteryx febrifuga* disséminées un peu partout. La distinction entre la savane arbustive et la savane arborée est peu évidente pour le non-spécialiste car elle est basée sur la hauteur de la strate ligneuse - moins de 5 mètres pour les arbustes et de 5 à 10 voire 15 mètres pour les arbres. En tant qu'habitat, elles sont donc traitées comme une seule physionomie végétale bien qu'elles renferment, en fait, plusieurs formations différentes (CENATEL, 2003 ; CENAGREF, 2009). Ces savanes, plus ou moins ouvertes, constituent la majeure partie des paysages du bassin versant de la Pendjari.

❖ Des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sont rencontrés sur la chaine de l'Atacora de Tempégré à Séri en passant par Toukountouna et sur les collines (INRAB, 2006). Ils constituent le support des savanes saxicoles à *Detarium microcarpum* et *Burkea africana*. Les formations saxicoles sont des végétations ligneuses installées sur les affleurements rocheux, les inselbergs et les dômes granitiques généralement colonisés par les essences des savanes environnantes. Les formations saxicoles ont très peu d'arbres mais assez d'arbustes et une couverture de graminées discontinue.

❖ Entre la plaine du Gourma et la chaîne de l'Atacora dominent les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sur schistes quartzeux, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions, lessivés sans concrétions et lessivés hydromorphes, et quelques îlots de sols ferralitiques rajeunis sur schiste, et de verstisols sur schistes quartzeux (INRAB, 2006). Ces sols sont colonisés par les formations de savanes boisées à *Combretum* spp et *Pterocarpus erinaceus*. Elles se différencient des forêts claires par leur surface terrière relativement faible. La savane boisée se trouve soit sur les sols profonds et bien drainés des bourrelets de berge de la rivière Pendjari soit sur des pentes et au pied de relief sur des sols rajeunis par l'érosion (CENATEL, 2003 ; CENAGREF, 2009).

En plus des données physiques décrites ci-dessus, il y a également le climat qui est l'un des facteurs clés de la détermination des hydro-écorégions et de la dynamique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari.



Source : INRAB, 2007 : Carte pédologique de reconnaissance au 1/200000, Feuilles Natitingou et Feuille Porga

Figure 5 : Sols *du Bassin versant béninois de la pendjari*

1-2-5- Fondement climatique du bassin versant de la Pendjari

Situé dans la zone des climats de mousson d'Afrique de l'ouest, le bassin versant béninois de la Pendjari bénéficie des flux de mousson et de ceux de l'alizé du nord. L'**alizé** est un vent saisonnier soufflant des hautes pressions subtropicales vers des latitudes équatoriales, sans qu'il y ait passage de l'équateur. Les alizés restent dans leur hémisphère d'origine. Ils deviennent **moussons** dès qu'ils passent l'équateur (drift ou déclivité transéquatoriale), avec changement de direction (Boko, 1988).

Dans le cas du Bassin versant de la Pendjari, l'alizé est l'harmattan qui est un vent froid et sec qui souffle du nord-est vers le sud-ouest pendant la période de novembre à février voire mars, en provenance du Sahara. Tandis que la mousson est le flux d'air maritime humide qui souffle du sud-ouest vers le nord-est pendant la période d'avril à octobre, en provenance des hautes pressions de l'anticyclone de Sainte-Hélène situé dans l'océan Atlantique de l'hémisphère Sud et qui fait tourner l'air dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Ces deux masses d'air convergent vers une zone de dépression appelée la "Zone de Convergence Intertropicale" (ZIC) encore appelée "Front Inter Tropical" (FIT), au sein de laquelle se forment de gros nuages appelés cumulonimbus. C'est une zone de basse pression marquant la limite entre un flux d'alizé et un flux de mousson (Boko, 1988). Les saisons sont déterminées par le balancement de ce Front Inter Tropical (FIT). Le figure 6 présente la position du FIT à chaque mois de l'année.

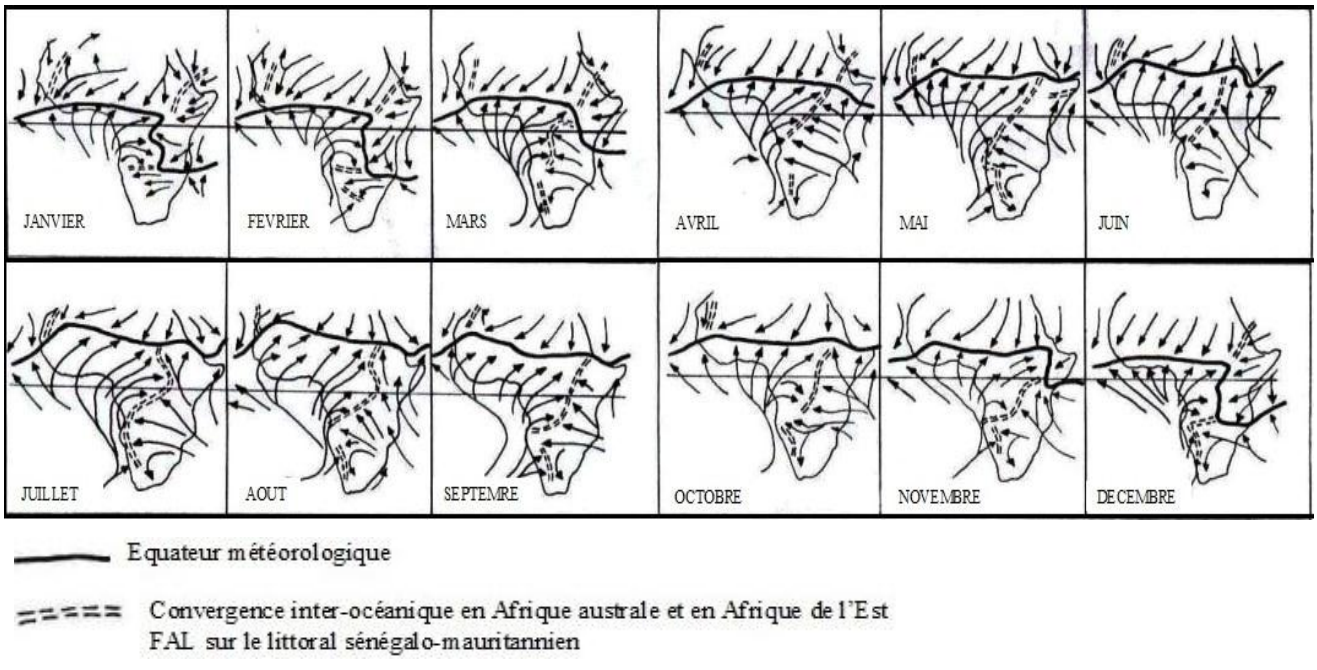


Figure 6 : *Mouvement oscillatoire annuel de la ZIC sur l'Afrique*

Source : Fontaine cité par Vissin (1998), Houssou (1998) et Tenté (2005).

Pendant le mois de janvier, la ZIC occupe sa position la plus méridionale sur le littoral (vers 7°N) aux latitudes de Lokossa, Pobè (Houssou, 1998 ; Tenté, 2005). Le Bassin versant de la Pendjari étant situé au nord de cette position, se trouve sous l'influence de l'harmattan. A partir de février ou mars, il remonte lentement vers le nord et occupe en août sa position la plus septentrionale qui correspond généralement au 20ème parallèle.

La saison des pluies dans le Nord-Bénin en général et en particulier dans le bassin versant béninois de la Pendjari est, d'après Boko (1988) « liée au passage de la ZIC, au fur et à mesure que l'anticyclone de Sainte-Hélène s'étend vers l'équateur ».

En effet, les pluies surviennent avec le passage de la ZIC dans le domaine du secteur d'étude. Elle donne des pluies abondantes et continues qui sont le fait de nuages cumuliformes fortement convectifs. D'après Afouda (1990), ce sont les averses des mois de juin, juillet, août, mois au cours desquels le corps de la ZIC, dans les couches moyennes, est légèrement plus au nord du bassin versant de la Pendjari. Moron (1993) explique que ces pluies de mousson s'individualisent par leur occurrence plus élevée la nuit et le matin, lorsque le fléchissement thermique entraîne une augmentation de la condensation. Les orages isolés sont dus à des nuages cumuliformes, ils sont typiques de la zone B de la mousson (Annexe 5), là où la faible épaisseur de la couche humide et la subsidence supérieure interdisent des formes plus évoluées (Moron, 1993 repris par Vissin, 2007).

Outre les pluies de mousson, les précipitations observées dans le bassin versant de la Pendjari sont également liées aux mécanismes atmosphériques à trajectoire zonale largement argumentées par Boko (1988). Il s'agit des ondes d'est ou ondes tropicales, des perturbations zonales, des lignes de grains et des amas nuageux convectifs mobiles.

Les ondes d'est

Selon Boko (1988), c'est un "talweg" ou une circulation cyclonique dans l'alizé d'est. Il explique que sur les images satellitaires, on note l'apparition d'un talweg mobile d'axe oblique reliant le golfe de Guinée au Darfour et au massif éthiopien, contournant l'anticyclone égypto-libyen par le sud et le sud-est. Cette situation qui s'observe surtout en hiver boréal peut durer deux ou trois jours, en se déplaçant vers l'ouest. Ces ondes peuvent affecter tout le Bénin, mais surtout les régions nord. Elles ont cependant une activité variable dans le temps et dans l'espace, de telle sorte que les précipitations peuvent être tantôt importantes, tantôt absentes, remplacées par une "tornade sèche".

Quant aux ***perturbations zonales***, ce sont, d'après Leroux (1980) et Boko (1988) des "lignes de pulsations" qui naissent au sein même de la mousson. Wauthy (1983) explique que ces ondes

d’accélération de flux de mousson "modifient la répartition de la convergence et de la divergence, pouvant amener la formation de nuages à l’amont de la ligne de basses pressions". Pour Boko (1988), ces phénomènes semblent être à l’origine des précipitations diurnes lorsque l’échauffement a créé les conditions propices à l’instabilité ou lorsqu’il n’existe pas par ailleurs de facteurs inhibiteurs (substratum froid ou refroidi, subsidence des couches supérieures).

Les lignes de grains

Elles se présentent comme des alignements nord-sud de cumulonimbus, associés aux ondes d'est tropicales, ondulations affectant le champ de masse et de mouvement d'altitude que Pagney (1994) appelle perturbations de première grandeur. Ces lignes de grains sont à l'origine des averses orageuses qui surviennent en mai-juin, mais aussi en août et septembre dans le bassin versant de la Pendjari. Pour Omotosho (1984), elles constituent l'apport le plus important de pluies au nord du 10°30' N où elles représentent au moins 60 % des totaux pluviométriques. Boko (1988) confirme qu’elles constituent les facteurs pluviogènes majeurs au Bénin (plus de 70% des précipitations entre mai et octobre). Elles se situent dans la zone C1 de la mousson (Annexe 5) et sont accompagnées de vents violents avec des rafales de plus de 20 nœuds (Agli, 1995). En effet, le front de la Ligne de Grain est constitué de puissantes cellules convectives alignées perpendiculairement à leur direction de propagation. Dans cette partie, la rencontre des masses d’air sec et humide est favorable au développement de la convection profonde qui entraîne des précipitations de forte intensité et de courte durée. Les courants ascendants et descendants résultant du soulèvement d’air instable alimentent cette partie convective à partir de la couche limite des masses d’air sec et humide. La partie stratiforme, quant à elle, donne des pluies moins intenses et de durée plus longue. Pour un observateur terrestre, selon N’Diaye (2009), le passage d’une ligne de grains est caractérisé par de violents coups de vent (10-15m/s) accompagnés d’une chute brusque de température et un saut de la pression (grain blanc), quelques minutes avant l’arrivée de la pluie. L’existence d’un courant froid ou courant de densité au sein de la ligne de grains explique le refroidissement ressenti au sol avant l’arrivée de la pluie.

Les amas nuageux convectifs mobiles (ou ***clusters*** en anglais) :

Comparés aux lignes de grains, les amas nuageux ont des formes moins définies et les déplacements plus lents. Boko (1988) explique que sur les images satellitaires, on les voit "naftre" à l’ouest et au nord du massif forestier congolais, sur la dorsale oubanguienne, et au sud du massif éthiopien. Il s’agit certainement d’un effet de convergence des flux de mousson le long des lignes de relief. Selon la vigueur de la mousson, en d’autres termes selon la puissance de l’anticyclone de Sainte - Hélène, la région-source peut être limitée à la dorsale oubanguienne. Dans ce cas, les cellules passent au large des côtes du Bénin, “sautant” des bouches du Niger à

l'embouchure de la Volta, épargnant ainsi le littoral du golfe de Guinée. Si les pulsations de la mousson sont particulièrement fortes, les cellules passent plus au nord, au nord du 9ème parallèle, avant d'être déviées par les lignes de l'Atakora, tout comme les lignes de grains.

C'est sur la base de ces phénomènes atmosphériques d'échelle régionale et des différentes oscillations de la ZIC, que le bassin versant béninois de la Pendjari est sous l'influence du climat soudanien (climat tropical chaud et humide) ou soudano-guinéen qualifié d'atacorien (Houssou, 1998). Il est caractérisé par une alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse. La saison pluvieuse de 5 à 6 mois (mai à octobre) est dominée par les flux de mousson mais aussi ceux liés aux lignes de grains, génératrices de fortes averses sur la région. La pluviosité moyenne (1961-2006) est de 1131,3 mm. Les mois de juillet, août et septembre sont les plus pluvieux avec une moyenne de 227,5 mm par mois.

Par effet de versant au vent et de versant sous le vent, la chaîne de l'Atacora aurait des influences sur les précipitations et la répartition spatiale des champs pluviométriques dans le bassin versant de la Pendjari. En effet, dans les régions occidentales des moyennes latitudes, les versants exposés aux masses d'air humide et aux perturbations venant de l'est (versant au vent) sont plus arrosés que les versants sous le vent. Après avoir franchi le relief, l'air perd une grande partie de son humidité, d'où un temps plus sec dans le versant sous le vent. Un flux d'air forcé à franchir une barrière de relief est à l'origine d'un effet de Foehn de l'autre côté du relief. A sa descente, il se comprime, se réchauffe et s'éloigne du point de saturation (point de rosée), d'où un vent sec et haud, soufflant en rafales très violentes. Dans le le cas de cette étude, on est tenté d'estimer qu'il y a effet de Foehn avec la chaîne de l'Atacora. Mais nous penson qu'il n'y a pas effet de Foehn dans le bassin versant de la Pendjari pour deux raisons : (1) l'isohyète 1050 se distribue dans les deux HER. (2) le relief n'est pas suffisemment important pour générer l'effet de Foehn.

La saison sèche de 6 à 7 mois (octobre à avril) est marquée dans les quatre ou cinq premiers mois (octobre/novembre à février) par des flux de l'alizé du Nord-Est (l'harmattan), secs, frais la nuit et relativement chauds le jour, desséchant et accélérant le dépérissement de la végétation (Tenté, 2005). Elle est marquée par l'absence de précipitations. D'après Boko (1988), la saison sèche commence assez brutalement, pratiquement en octobre sur l'ensemble de la région. Il explique que l'affaissement brutal des totaux mensuels à partir d'octobre précède d'au moins un mois la baisse de la tension de vapeur, donc du volume d'eau précipitable. Cela s'explique par le fait que le "voyage-retour" de la ZIC est plus rapide que le "voyage-aller". Il en est toujours ainsi lorsque l'échange s'effectue entre un anticyclone maritime et un anticyclone continental. Il semble que les mécanismes anticycloniques se rétablissent très rapidement, dès l'automne sur le nord-est du Sahara, et dès novembre le flux d'alizé continental atteint le nord du Bénin. De cette façon, il n'y

a pas d'intersaison entre la saison des pluies et l'harmattan, du moins elle n'est pas évidente. A la fraîcheur nocturne et matinale de l'harmattan succède la forte chaleur de l'intersaison, en mars-avril (Houssou, 1998).

Somme toute, ces conditions climatiques, relativement favorables, et les autres caractéristiques physiques, offrent des conditions assez favorables à l'installation humaine et aux activités économiques.

1-3- Description du milieu humain

Dans l'exercice de la détermination des hydro-écorégions et l'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari, il est fondamental de connaître les données humaines et économiques du milieu. Il s'agit de l'évolution démographique, des peuples, du peuplement et des activités socio-économiques qui constituent les données humaines du bassin versant de la Pendjari.

1-3-1- Démographie du bassin versant de la Pendjari

L'effectif de la population du bassin versant béninois de la Pendjari est estimé à l'ensemble des effectifs de populations des communes de Tanguiéta, Matéri, Kobly, Boukombé, Natitingou, Kouandé et Kèrou. Cet effectif est passé de 274133 habitants en 1979 à 366780 habitants en 1992. Au recensement général de la population et de l'habitat en 2002, cet effectif avait atteint 494335 habitants répartis en 72460 ménages dont 60259 ménages agricoles (INSAE-Cotonou, 1994 et 2004). Sur la base des projections sur 2012 à partir des taux d'accroissement intercensitaires de chaque commune, l'effectif de la population du bassin versant béninois de la Pendjari est estimé à 669.440 habitants. La figure 7 présente l'évolution de l'effectif de la population des communes du bassin versant de la Pendjari.

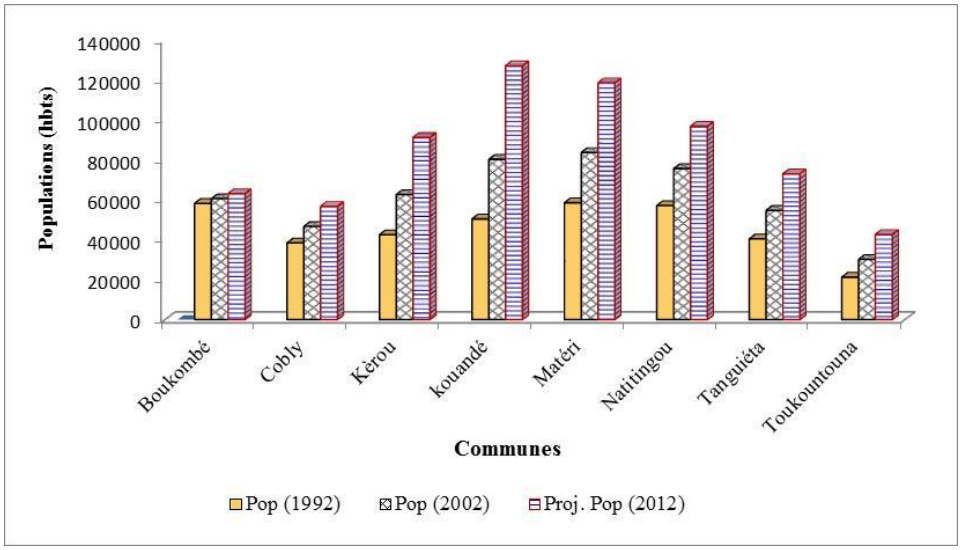


Figure 7 : *Evolution des populations des communes du bassin versant de la Pendjari de 1992 à 2012*

Source : INSAE – Cotonou + Résultat de projections

1-3-2- Peuplement et habitat dans le bassin versant béninois de la Pendjari

1-3-2-1- Peuples (les groupes socioculturels) du bassin versant béninois de la Pendjari

Le bassin versant de la Pendjari est peuplé par de nombreux groupes socioculturels ou groupes ethniques. On peut citer les *Waama*, les *Bètamaribè*, les *Gulmacéba*, les *Bièliba* ou *Berba*, les *M'bèlimè* ou *Yindé*, les *Natémba*, les *Fulbé* ou *Peulh*, les *Zerma*, les *Dendi*, les *Bulba*, les *Moore*, les *Baatombu* ou *Bariba* (CENALA, 1989).

Mais selon les résultats des enquêtes démographiques de la DGAT/MISD (2001), trois (03) principaux groupes socioculturels sont majoritairement rencontrés dans le bassin versant de la Pendjari. Il s'agit des *Berba* (65 %), qui parlent la langue *Biali*, des *Gulmacéba* (23 %) qui parlent la langue *Gulmatchéma*, des *Waaba* (7 %) qui parlent la langue *Waama* et des *Bètamaribè* qui parlent la langue *Ditammari*.

Les *Waaba* sont rencontrés à Toukountouna, à Natitingou, à Tanguiéta et à Kouandé (N'Tcha, 1990). Quant aux *Bètammaribè* et les *Natémba*, on les retrouve dans la partie sud du territoire du bassin, notamment les communes de Toukountouna, Natitingou, Boukombé et Kouandé (Mercier, 1968 ; Koussey, 1977, N'Tcha, 1990). Les *Gulmacéba* occupent le nord-est du bassin dans les communes de Tanguiéta et Kèrou. Les *Berba* sont dans les communes de Matéri et Tanguiéta, les *Yindé* sont rencontrés à Cobly et à Boukombé (Mercier, 1968 ; Koussey, 1977, N'Tcha, 1990).

1-3-2-2- Peuplement (origines et installation des peuples)

Les origines des différents groupes socioculturels du bassin versant sont jusqu'à nos jours mal connues. Mais en se référant aux études récentes des historiens dont celle de N'Dah (2009) sur les « sites archéologiques et peuplement de la région de l'Atacora », les origines des peuples du bassin versant de la Pendjari qui fait partie de la région de l'Atacora, ont pu être décrites.

En effet, selon N'Dah (2009), en ce qui concerne la mise en place des peuples de la région de l'Atacora, des hypothèses ont pu être établies et des conclusions acceptables ont été proposées. Ainsi l'unanimité paraît désormais acquise sur la probabilité d'une provenance occidentale de la majeure partie des populations de la région de la chaîne de l'Atacora. Ce lieu de provenance est souvent identifié aux plaines de l'Oti et du Gourma, c'est-à-dire le Nord-Togo et le sud-est du Burkina Faso. Selon cette hypothèse, la mise en place des populations de l'Atacora est le résultat d'un mouvement de groupes humains venus de l'Ouest à la suite de mutations socio-politiques survenues dans le Gourma. Ces mutations sont nombreuses et échelonnées dans le temps. Elles

sont dues essentiellement aux incursions sonraï dans le Gourma, à la formation des Etats Mamprusi, Dagomba, Mossi, Gourmantché et aux crises de palais de ces entités politiques (Tiando, 1996).

D'après les sources orales et écrites disponibles, la région a été peuplée à partir de l'ouest et ce peuplement est lié aux mouvements de populations qui ont toujours accompagné ou suivi la formation des royaumes en Afrique occidentale. Mais les informations disponibles ne suffisent pas pour déterminer l'origine exacte de ces populations et surtout la chronologie de leur installation. A propos de la chronologie, deux tendances se dégagent :

- une tendance dite de la chronologie longue qui se réfère à la mention dans les Tarikh des rivalités ayant opposé le Mali puis le Songhaï à des Mossi et aux "païens" du Gourma entre le XIVe et le XVe siècle. Les partisans de cette tendance penchent pour l'existence d'une formation politique mossi bien structurée avant le XIIIe siècle qui, sous les pressions maliennes et Songhaï aurait été à l'origine des mouvements de population vers l'est en direction de l'Oti et de l'Atacora vers le XVè siècle (Tauxier et Delafosse, Tarikh es Sudan et Tarikh el Fettach , cités par Ki-Zerbo, 1978) ;

- la seconde tendance dite de la chronologie courte, se réfère à la tradition orale mossi pour situer la naissance des royaumes mossi-dagomba-mamprusi, dont découleraient les mouvements de population, à la fin du XVe siècle et celle du royaume Gulmance au XVIe siècle. Par conséquent, les tenants de cette tendance situent les migrations de populations vers l'Atacora entre les XVIIe et XVIIIe siècles (Fage et Izard cités par N'Tia, 1993). De l'analyse de tous ces éléments, on peut penser que la mise en place des populations de l'Atacora s'est faite avec les arrivées successives à partir de l'Ouest, du Nord-Ouest ou du Sud-Ouest de différents groupes, les suivants repoussant progressivement vers l'est et le sud-est ceux qui les précédaient. Ce processus a dû s'amorcer avant le XVe siècle avec les rivalités qui ont opposé les Mossi et les Gourma aux empires du Mali et de Gao et s'est poursuivi ensuite avec les pressions des royaumes mossi, dagomba, mamprusi dont la phase d'expansion se serait située dans la première moitié du XVIe siècle, et du royaume Gulmance dont la fondation remonterait au XVe siècle.

Seraient ainsi arrivés dans l'Atacora venant de l'ouest, les *Yowa*, les *Tangba* qui ont progressé jusque dans la région de Djougou, refoulant ou assimilant partiellement les *Biyobe*, les *Kabye*, les *Lamba* et les *Lokpa* qui les y avaient précédés par l'Ouest et le Sud-Ouest. Les *Yowa* ont été suivis des *Waaba* et des *Daataba*, lesquels à leur tour ont précédé les Bètammaribè. Les *Berba* auraient fermé la marche sous la pression des *Tyokossi*.

De la plaine du Gourma, foyer d'effervescence politique à partir du XVe siècle, sont venus des éléments qui ont contribué à la constitution du groupe Natémba, du sous-groupe Tangamba et du groupe Berba. Ces derniers sont demeurés au pied de la falaise de l'Atacora alors que les Natémba et les Tangamba, qui les ont précédés sur la chaîne de l'Atacora, ont progressé vers l'est (N'tia, 1993). En ce qui concerne les Tangamba, ils auraient laissé dans les falaises du Gobnangou (sud-est du Burkina Faso) des restes d'habitations dont certains murs de construction résistent encore aux intempéries (Millogo, 1993a).

1-3-2-3- Types d'habitats dans le bassin versant béninois de la Pendjari

Du fait de cette diversité des groupes socioculturels, il y a une variation notable du type d'habitat dans le bassin versant de la Pendjari. En effet l'habitat est dispersé au sud et au sud-ouest du bassin et groupé au nord et nord-est. La répartition de l'habitat est liée à la répartition des peuples dans le bassin.

L'habitat dispersé est observé dans les communes de Natitingou, Boukombé et de Kouandé notamment où le peuple *Otammari* est majoritaire. L'habitation de ce peuple est communément appelée Tata somba (photo 1).

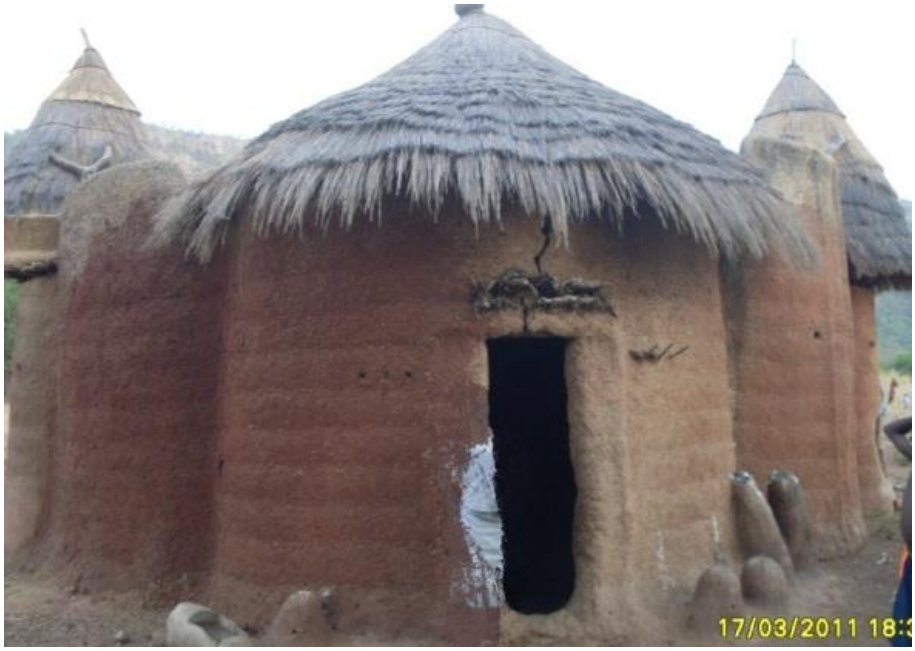


Photo 1: *Tata somba à Koutagou (Commune de Boukombé)*

Cette photo présente une tata somba à trois chapeaux. Les chapeaux des extrémités gauche et droite sont des greniers et le chapeau en avant-plan est une chambre. Une seconde chambre est cachée en arrière de celle en avant-plan.

Source : Cliché IDIETI, 2011

Pour construire un Tata somba, les populations se servent des espèces végétales collectées sur place. Les graminées (*Schizachyrium sanguineum, Loudetia togoensis et Loudetia simplex*) sous forme de paille, sont surtout utilisées dans la confection des toîtures. Les ligneux (*Afzelia africana, Crossopteryx febrifuga, Daniellia oliveri, Erythrophleum africanum,* etc.) servent de poutres dans l'agencement des charpentes (Tenté, 2005).

Les autres peuples (les *Waaba, Berba, Gulmaceba*, etc.) s'installent souvent en habitat groupé notamment dans les communes de Toukountouna, Tanguiéta, Matéri et Cobly. Ce type d'habitat est la caractéristique surtout des centres urbains de toutes les communes. Il est constitué de regroupements de cases dans une concession rectangulaire. L'espace entouré par les différentes cases de la concession est l'endroit où se déroule l'essentiel des activités de ménage.

On y rencontre également les campements, type d'habitat des Peuls et des pêcheurs (Photo 2).

Ce sont les habitations peu étendues souvent à l'écart des villages et des autres peuples (Tenté, 2005).



Photo 2 : *Campement de pêcheurs à Porga (Commune de Matéri)*
En arrière-plan, se trouve les cases du campement des pêcheurs. Au premier plan, on observe un champ de case en jachère.

Source : Cliché IDIETI, 2010

Cette organisation socioculturelle dans le bassin versant béninois de la Pendjari constitue un facteur important dans le processus de la dynamique des états de surface du bassin à travers les activités des populations et autres composantes socio-économiques de la région.

1-3-3- Caractéristiques socio-économiques du bassin versant de la Pendjari

Il s'agit des activités menées par les populations dans le bassin versant béninois de la Pendjari pour subvenir à leurs besoins et contribuer à l'économie locale et nationale.

L'***agriculture*** est l'activité primordiale des populations du bassin versant béninois de la Pendjari et ses environs. Cette activité est plus pratiquée dans la portion sud du secteur d'étude. C'est elle qui assure la sécurité alimentaire des populations vivant dans le bassin (MAEP, 2009). Elle occupe plus de 65% de la population active (INSAE, 2004). Les principales cultures sont le sorgho, le mil, le maïs, le niébé, l'igname, le manioc, le tabac. Le coton, l'arachide et plus récemment le riz sont les cultures de rente. Il s'agit essentiellement d'une agriculture de subsistance où les échanges et la monétarisation sont faibles. Les produits vivriers sont vendus ou échangés sur les marchés locaux, notamment le riz et l'arachide (MAEP, 2009). La sécurité alimentaire peut devenir précaire pendant la période de soudure (juillet à septembre). C'est une agriculture essentiellement pluviale c'est-à-dire calquée sur le calendrier saisonnier des pluies.

L'***élevage*** est la seconde activité qu'exercent les populations du bassin versant béninois de la Pendjari. Elle est pratiquée un peu partout dans le bassin versant de la Pendjari. Son rôle principal est l'épargne et les animaux ne sont vendus qu'en cas de besoin urgent en moyen financier (CeRPA Atacora, 2009). En général, ils ne sont consommés que lors des cérémonies, des réceptions et jours de fête. Toutes les familles essayent d'élever quelques petits ruminants et de la volaille. L'élevage de bovins revêt deux caractères : un élevage local concernant une race rustique très résistante appelée « race somba » ; et un élevage transhumant (Ouassa-Kouaro, 2008) pratiqué par les populations peulhs locales et celles venues des pays limitrophes (Photo 3).



Photo 3 : *Troupeau de bœufs des Peuhls à Nanimbou (Tanguiéta)*
On observe en avant plan les peuhl avec leur troupeau de bovins. En arrière-plan se trouve la végétation du flanc d'un chaînon de montagne.
Cliché : IDIETI, 2009

La ***pêche*** est une longue tradition chez les populations du bassin versant de la Pendjari notamment dans les zones riveraines des cours d'eau importants (Photo 4). Elle est très pratiquée dans le secteur nord et nord-ouest du bassin versant de la Pendjari. Elle est pratiquée par les villageois et aussi par des professionnels d'origines ghanéenne, malienne et nigérienne. Les populations riveraines de la Réserve de la Biosphère de Pendjari (RBP) sont autorisées selon le droit d'usage à pêcher dans la Zone Cynégétique de Pendjari (ZCP) jusqu'à une certaine limite (CENAGREF, 2009).



Photo 4 : *Pêche dans la rivière Pendjari à Porga*
En avant plan se trouvent les pêcheurs en train de placer le filet dans le cours d'eau ; au second plan s'étend la rivière bordée par la galerie forestière.
Cliché : IDIETI, 2009

La ***chasse*** fait partie des coutumes dans le bassin versant béninois de la Pendjari, surtout dans les villages riverains de la RBP. Elle avait et a toujours des aspects économiques et sociaux. Elle procure une quantité non négligeable de protéines animales et génère des revenus occasionnels, surtout aux jeunes en quête "d'argent liquide". Ouassa-Kouaro (2008) écrit que « La pratique communautaire de la chasse n'a pas fondamentalement pour objectif de ramener du gibier, mais joue un rôle initiatique. Cette forme de chasse a donc une fonction sociale ».

En ce qui concerne ***le tourisme***, le bassin versant béninois de la Pendjari est le porte-flambeau du tourisme national au Bénin. Le Parc le plus visité par les touristes étrangers se trouve dans le bassin versant béninois de la Pendjari. Toute forme de tourisme y est pratiqué :

tourisme de vision, chasse sportive, écotourisme. Outre la faune du Parc National de la Pendjari, les paysages des falaises de l'Atacora, la diversité ethnique (ou socioculturelle), les villages typiques, les architectures traditionnelles, la découverte de la nature (avifaune, végétation, etc.) ainsi que les cascades constituent des attraits touristiques éprouvés dans le bassin versant de la Pendjari.

Mais, il faut noter que le tourisme n'est pas une activité économique traditionnelle exercée par les populations autochtones. Ce n'est qu'à nos jours que les services en charge de la gestion du Parc impliquent les populations et on observe de plus en plus une organisation des autochtones sur certains sites des attraits touristiques.

Les populations du bassin versant de la Pendjari pratiquent la ***cueillette*** pour l'alimentation, la médicine traditionnelle et l'approvisionnement en matière première pour des activités artisanales. Les femmes transforment divers céréales et légumineuses en bière ou beignets et ***vendent localement*** ces produits.

L'***apiculture*** ou la « production du miel », jusqu'à nos jours, est encore une pratique traditionnelle dans le bassin versant de la Pendjari. En effet, pour produire le miel, le paysan construit un pot en forme d'une longue jarre, à base de l'argile pétrie et mélangée avec de l'herbe sèche. Ce dispositif est posé dans la forêt ou dans la savane, sur un arbre ou arbuste fourchu en mesure de maintenir la ruche (photo 5).



Photo 5 : *Une ruche traditionnelle sur un arbre d'une galerie forestière à Tchatingou (Tanguiéta).*
En avant plan, on observe la ruche en pot d'argile placée entre les fourches de l'arbre et en arrière-plan, l'eau de la rivière de Tchatingou.

Cliché : IDIETI, 2009

Pour récolter les produits d'abeilles, le paysan allume le feu autour de la ruche dans l'objectif d'éloigner les abeilles afin de récolter librement le miel sans se faire piquer. C'est une mauvaise pratique car l'utilisation du feu détruit les abeilles qui devraient être préservées pour la pérennité de la production du miel. Le miel récolté est vendu sur le marché des localités du bassin souvent en bouteille ou en bidon.

Par ailleurs, à l'instar de ce qui se passe au plan national, pays à production apicole marginale (FAO, 2010), les données ne sont pas disponibles pour apprécier la production apicole dans le bassin versant de la Pendjari.

Par contre, le miel produit est véritablement consommé de diverses manières dans les ménages (soit avec de la bouillie du maïs ou du sorgho en lieu et place du sucre, soit utilisé en pharmacopée), et même au-delà des frontières du bassin. Il n'est pas rare, surtout au sud du Bénin notamment à Cotonou, de voir sur des pancartes « ici en vente du bon miel du Nord » ; ou d'entendre dire « ramène-moi de ton voyage du bon miel du Nord ». La production de miel dépend entièrement de la végétation disponible. En effet, dans le bassin versant de la Pendjari, il existe une multitude d'espèces de plantes qui fournissent les aliments nécessaires aux abeilles. On peut citer entre autres : *Parkia biglobosa* ; *Ficus sycamorus ; Adansonia digitata* ; *Terminalia* spp. ; *Vernonia* spp ; *Azadirachta indica* ; *Brachystegia* spp. ; *Calycophyllum candidissimum* ; *Ceiba pentandra* ; *Cochlospermum* spp. ; *Combretum* spp. ; *Cordia* spp. ; *Cryptosepalum pseudotaxus* ; *Dialium engleranum* ; *Dombeya rotundifolia* ; *Faurea saligna ; Gilibertia* spp. *; Isoberlina* spp. ; *Leucas aspera* ; *Lonchocarpus* spp. *; Madhuca longifolia; Marquesia macroura* ; *Prosopis* spp. *; Pterocarpus* spp. ; *Sclerocarya caffra ; Syzygium* spp. *; Albizia* spp., *Burkea* spp., Commiphora spp., *Jacaranda mimosifolia, Lannea spp., Parianari spp*., *Protea* spp., etc.

Ces espèces de plantes (arbres, arbustes et herbe) se trouvent dans des forêts et savanes du bassin versant de la Pendjari, décrites plus haut. Néanmoins l'apiculture y est très peu développée. Elle pourrait connaître un certain essor avec les spécialistes.

Conclusion partielle

L'étude des caractéristiques physiques et humaines du bassin versant béninois de la Pendjari a permis de mettre en exergue les éléments de détermination des hydro-écorégions. En effet, la topographie formée de deux grandes unités de relief (la chaine de l'Atacora et la plaine de Pendjari) permet à un réseau de cours d'eau quasi temporaires autour de la rivière Pendjari, de drainer les eaux de surface. Le substratum géologique constitué des roches métamorphiques (les quartzites, les schistes, les gneiss, les grès, etc.) et affectées par des chevauchements et des charriages, constituent les premières considérations dans la détermination des hydro-écorégions

du bassin. Les sols de types peu évolués sur quartzites, ferrugineux tropicaux et hydromorphes sur lesquels se développent les formations végétales de types savanicoles en majorité sont régis par un climat de type soudanien à deux saisons (une saison de pluies de 5 à 6 mois et une saison sèche 6 à 7 mois avec 3 à 4 mois d'harmattan). La population sans cesse croissante constituée des peuples *Bièli, Waaba, Gulmancé et Otammari* et autres, avec l'agriculture comme activité principale, constitue l'un des facteurs déterminants de la dynamiques des écosystèmes naturels au sein des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

CHAPITRE 2 :

CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE

Introduction partielle

Ce chapitre présente d'abord le cadre théorique où sont exposés la problématique, les objectifs et les hypothèses de recherche, ainsi que la synthèse bibliographique sur les différents aspects du sujet. Il présente également la clarification des concepts. Quant au cadre méthodologique, il présente les données et les méthodes utilisées pour la détermination des hydro-écorégions et l'analyse des facteurs déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari.

2-1- Cadre théorique

2-1-1- Problématique

Pagney et Frecaut (1983) ont montré que dans les régions tropicales et subtropicales, on observe une grave dégradation de l'écoulement de surface, puisqu'une forte capacité d'évaporation coïncide avec une pénurie pluviale pratiquement toute l'année. L'irrégularité des précipitations se manifeste par des formes extrêmes : soit les averses énormes, soit les sécheresses climatiques qui déterminent souvent des étiages sévères.

Dans le même sens, le Programme Mondial pour l'Evaluation des Ressources en Eau estimait en 2003 que plusieurs régions tropicales et subtropicales connaîtront vraisemblablement des pluviométries inférieures à celles de la situation actuelle ou plus erratique (Totin, 2005). Vissin (2001) démontre que les systèmes hydrologiques sont non seulement sensibles au forçage pluviométrique mais également à d'autres facteurs (formations géologiques, évaporation, pratiques culturales, pratiques agro-pastorales, usages domestiques) qui accentuent le déficit hydrologique. Selon le PNUD (2004), la biodiversité des eaux continentales accuse un repli général dû principalement à la perturbation de l'habitat, ce qui peut être considéré comme la preuve de la dégradation de l'écosystème.

Ces problèmes deviennent de plus en plus récurrents aux plans international, national et local. Le bassin versant de la Pendjari au Bénin n'est pas en marge de cette situation. En effet, le bassin versant de la Pendjari est une "zone" de réserve d'importance internationale (la RBP), aux potentialités touristiques diverses (Parc national de Pendjari, cascades de Tanongou, paysages pittoresques des flancs de relief). Il est confronté à de nombreux problèmes notamment une baisse de la pluviométrie et du débit hydrologique, des fluctuations pluviométriques aux répercussions importantes sur les ressources en eau et même sur les productions agricoles, une perte progressive de la biodiversité du fait de la pression anthropique sur les ressources naturelles (ressources en eau, sols, formations végétales, etc.)

A ce sujet, Vissin (2007) constate que devant l'accroissement de la demande en eau lié à la croissance démographique et à la multiplication des usages (consommation domestique, industrie, agriculture, élevage, loisirs, etc.), les gestionnaires des ressources en eau doivent faire face aux problèmes de pollution, de mauvaise gestion et de pénurie. Dans ce contexte, on comprend alors aisément la nécessité de mettre au point des outils d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes naturels et le devenir de l'eau dans l'environnement. A l'instar du pays, on peut noter que la gestion des hydrosystèmes ou écosystèmes aquatiques dans le bassin versant de la Pendjari se base uniquement sur les statistiques hydrologiques et pluviométriques tout en considérant les données liées aux pressions humaines et les données socio-économiques.

Il se pose le problème de méthode scientifique permettant, autant pour la compréhension du fonctionnement physique et écologique des milieux aquatiques que pour une gestion des ressources naturelles, d'avoir une perception globale et complète des hydrosystèmes. Il est donc nécessaire d'envisager d'autres approches d'analyse des facteurs de la dynamique des écosystèmes pour une gestion plus efficace des hydrosystèmes.

Il existe l'approche des hydro-écorégions déjà éprouvée, mise au point par Wasson *et al.* Elle est appliquée à la présente étude sur le bassin versant de la Pendjari pour une meilleure gestion intégrée des écosystèmes

Les recherches portent donc sur « ***Les Hydro-Ecorégions du bassin de la Pendjari : Analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels*** ». L'application de cette approche vise principalement à analyser les facteurs déterminant la dynamique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari.

Un certain nombre de questions est soulevé :

- ✓ Quelles sont les hydro-écorégions identifiables dans le bassin versant béninois de la Pendjari ?
- ✓ Quels sont les déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels dans chaque hydro-écorégion?
- ✓ Quelles pourraient être les pratiques et les mesures appropriées pour une utilisation et une gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari ?
- ✓ Quelles sont les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les populations face à la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari ?

Pour apporter des approches de réponses à ces diverses questions, les hypothèses suivantes ont été formulées.

2-1-2- Hypothèses de la recherche

❖ Hypothèse principale

L'approche des hydro-écorégions permet une meilleure compréhension du fonctionnement physique et écologique des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari.

❖ Hypothèse spécifiques

1) Les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari sont nombreuses et identifiables.
2) Les déterminants socio-économiques et environnementaux sont à la base de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.
3) Les communautés du bassin versant béninois de la Pendjari développent des pratiques et stratégies d'adaptation face aux déterminants et à la dynamique des écosystèmes naturels.
4) Des mesures appropriées peuvent permettre une utilisation et une gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari.

2-1-3- Objectifs de la recherche

Des hydpothèses ci-dessus formulées découlent les objectifs suivants.

❖ Objectif général

Contribuer à la compréhension du fonctionnement physique et écologique des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari à travers l'approche des hydro-écorégions.

❖ Objectifs spécifiques

1) Déterminer les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari ;
2) Analyser les déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari ;
3) Etudier les pratiques et stratégies d'adaptation endogènes/populaires à la dynamique des écosystèmes naturels du bassin de la Pendjari au Bénin.
4) Proposer des mesures appropriées pour une utilisation et une gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari.

2-1-4- Point des connaissances

Sans être exhaustif, la synthèse bibliographique prend en compte plusieurs travaux réalisés antérieurement dans le domaine de l'eau, sur les hydro-écorégions, la dynamique des écosystèmes et les stratégies d'adaptation conformément aux thématiques développées dans ce travail.

Natta (1999) dans ses travaux sur "*occupation, exploitation du sol et organisation spatiale chez les Bɛtammaribɛ du nord Bénin*", explique que les Bɛtãmmaribɛ dans le Nord-Ouest du Bénin se sont installés sur la chaîne de l'Atacora depuis des lustres. L'appropriation et l'accessibilité de la terre sont régies par une tradition foncière assez rigoureuse. Les zones écologiques sont établies à partir du ratio population/ressources naturelles. Les paysans ont développé des techniques endogènes particulières pour lutter contre l'érosion des sols sur la base des précipitations, du relief, de la fragilité et de l'appauvrissement des sols.

Andriamahefa (1999) effectue des plans d'informations, d'outils et d'analyse à l'échelle du bassin versant de la Loire dans l'objectif de mieux caractériser et valider les hydro-écorégions établies empiriquement à partir des structures physiques globales et des caractéristiques anthropiques des cours d'eau et des bassin versants. Il est parti de l'idée que « les théories sur l'organisation des systèmes (Allen et Star, 1982) nous apprennent que les structures à large échelle gouvernent généralement celles à grain fin et la plupart des procédures de classification des systèmes aquatiques se basent sur de fortes associations et interactions entre les écosystèmes terrestres et aquatiques (Hynes, 1975) » et que « la méthode des écorégions (Omernik et Gallant, 1986) ou hydro-écorégions (Wasson *et al.*, 1993) s'appuie sur ces propriétés et identifie des limites à travers l'analyse des régions écologiques homogènes».

En étudiant les "*Stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques et climatiques chez les Bɛtãmmaribɛ de l'Atacora*", **Gnitona (2000)** montre que les peuples en l'occurrence les *Bɛtãmmaribɛ,* dans le Nord-Ouest du Bénin ont des stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques et climatiques, ce qui démontre que les autochtones du nord-ouest du Bénin connaissent bien les potentialités et les contraintes de leur environnement. Le choix des variétés culturales, de la période de semis sont des pratiques liées aux variations interannuelles des précipitations. La disposition des billons et le choix des pratiques culturales dépendent de la nature des terrains : plaine, plateau, collines ou montagne. Mais ces pratiques culturales ne sont pas efficaces et dégradent l'environnement.

Wasson *et al.* (2004), a publié un article sur « les Hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau ». L'une des

principales innovations de la DCE est de faire référence au contexte géographique naturel. Partant des données de base sur les caractéristiques physiques naturelles (géologie, relief, climat), la délimitation des hydro-écorégions (HER) devra rechercher les discontinuités naturelles pour chacun des paramètres et les concordances régionales de leur distribution. Il souligne les points importants de la méthode de délimitation des hydro-écorégions et identifie 22 HER de niveau 1 pour la France métropolitaine. Les critères qui ont permis ces délimitations sont : la géologie (structure lithologique et propriété des roches à savoir la dureté, perméabilité, l'influence sur la chimie l'eau), le relief (l'altitude, la pente des versants et des vallées), le climat (les précipitations, la température).

Chandesris *et al.* (2005) ont délimité les hydro-écorégions de la Martinique et ont fait des propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE).

Dans sa recherche sur "*les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora : Secteur Perma-Toucountouna (Bénin)*", Tente (2005) identifie les activités humaines néfastes qui dégradent les écosystèmes dans le Secteur Perma-Toucountouna (Nord-Ouest du Bénin). Il cite l'exploitation des pierres, l'expansion urbaine liée à la forte croissance démographique, les incendies répétés et les coupes abusives de bois. Il identifie trois ordres de régression des formations végétales et démontre que la régression d'ordre 3 est la forme très poussée de la dégradation où les galeries forestières deviennent des savanes à emprise agricole dans un intervalle de temps de plus en plus réduit : en 20 ans (1975 – 1994) puis en 10 ans (1994-2003). Il analyse les fonctions des écosystèmes saxicoles et les facteurs déterminants de la dynamique des écosystèmes du secteur d'étude.

Déjà plus tôt (en 2002) le même auteur démontrait que les facteurs de régressions des écosystèmes naturels sont d'ordre naturel et anthropique. Pour lui, la dégradation de l'environnement dans le Nord-Ouest du Bénin est la conséquence d'une mauvaise pratique agricole, d'un système d'élevage rudimentaire et d'une exploitation forestière irrationnelle, et que l'harmattan est un facteur naturel qui vient accentuer les conditions d'aridité de la saison sèche et participer à la dégradation du couvert végétal.

2-1-5- Clarification des concepts

La recherche sur "les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari requiert la compréhension de certains concepts utilisés dans ce travail. Ainsi, une clarification des concepts est nécessaire et permet d'élucider le sujet.

❖ **Hydro-écorégion :**

Ce concept amène à se rapporter à la théorie d'analyse typologique du paysage qui repose sur la conception structurale du milieu découpé en enceintes emboitées, et définit l'enchainement des unités spatiales comme suit : Zone – Domaine – Région – Paysage – Segment de paysage – Géon – Géotope (Richard, 1989). Sans aller en détail dans la définition de chaque concept de l'enchainement de ces unités spatiales, nous nous intéressons au concept de "Région", racine du concept d'"Hydro-écorégion".

Frey (1975) décrit et définit l'existence d'une **région** dès lors qu'on y observe des schémas particuliers et originaux. Du point de vue dimensions, une région a un rayon variant de 1000 m à 100 km (Demangeot, 1976). Pour Hart (1982), "une région correspond à une ou plusieurs zones homogènes qui diffèrent d'autres zones. En d'autres termes, la variance intra-région est inférieure à la variance inter-région". Cet auteur note que le concept de « région » est le procédé courant et efficace pour organiser, présenter les informations et promouvoir la communication. Wiken (1986) définit une région comme étant une aire ou une zone géographique définie par une ou plusieurs caractéristiques ou traits communs qui lui confèrent une certaine homogénéité et la rendent différente des régions environnantes. Il ajoute que la régionalisation consiste à découper une surface ou une zone par l'utilisation de plusieurs critères afin d'organiser des milieux dans un ensemble spatial complexe.

Une région est une entité spatiale homogène définie par un certain nombre de caractéristiques ou traits qui la rendent différente des autres entités spatiales.

"Le terme d'**écorégion** a été inventé en 1967 par Crowley, et la première cartographie de la classification des régions écologiques est établie par Bailey en 1976 sur l'ensemble des Etats-Unis" (Andriamahefa, 1999).

Pour Bailey (1976), à l'échelle écorégionale, les unités écologiques sont identifiées par les différences de régimes climatiques globaux, continentaux et régionaux et la physiographie brute. Le principe de base est que le climat régit des gradients d'énergie et d'humidité, agissant de ce fait en tant que contrôle primaire des écosystèmes localisés.

L'approche d'Omernik (1987), pour définir les écorégions, fournit une structure permettant d'évaluer la gestion de l'environnement à large échelle. Elle est basée sur l'hypothèse que les

écosystèmes et leurs composants affichent des modèles régionaux qui sont reflétés dans les combinaisons spatiales de facteurs causaux, tels que climat, sol, géologie, végétation, et physiographie.

De toutes ces définitions et approches, nous déduisons qu'une écorégion est une entité spatiale homogène définie sur la base de critères écologiques, se distinguant par le caractère unique de sa morphologie, de sa géologie, de son climat, de ses sols, de ses ressources en eau, de sa faune et de sa flore.

Appliqué aux écosystèmes aquatiques, et particulièrement aux cours d'eaux, le concept d'écorégion demande à être adapté aux spécificités de ces milieux (Wasson, *et al*., 2001). Lorsque Hynes (1975) énonce le principe selon lequel « la vallée gouverne le cours d'eau », le concept d'écorégion fut rapidement porté au niveau de contrôle du bassin versant par les chercheurs de l'US Environmental Protection Agency (US EPA) du laboratoire de Corvallis (Oregon) (Lotspeich, 1980 ; Frissell, *et al*., 1986). Ces auteurs ont centré leur approche sur le contrôle géomorphologique des écosystèmes d'eau courante à travers l'emboîtement hiérarchique des facteurs physiques depuis le bassin jusqu'à l'habitat aquatique. D'où l'idée développée dans le même laboratoire de Corvallis par Omernick (1987), d'utiliser un cadre écorégional pour classifier les cours d'eau. Cette idée propose les « aquatic ecoregions » pour les USA (Wasson *et al.,*, 2001, Chandesris *et al.,* 2001). Cependant, Omernick abandonne rapidement la qualification « aquatique », et de ce fait l'usage indiscriminé du terme « écorégion » a pu brouiller des concepts. Il reprend le principe d'une classification par les facteurs de contrôle et met clairement en avant, dans la logique de l'US EPA, la géologie, le relief et le climat, associés à la végétation et à l'usage des sols, pour définir ses écorégions aquatiques (Wasson, *et al*., 2001).

En application au milieu aquatique en France, cette approche a été préconisée et développée sous le vocable « **hydro-écorégion** » (HER) (Wasson, 1989). Wasson *et al.* (2001) expliquent que l'approche qui a été préconisée et développée en France sous le vocable « hydro-écorégion » (HER), est clairement dérivée des concepts et méthodes de l'US EPA, et que les déterminants primaires utilisés sont la structure géophysique (géologie, géomorphologie, relief) et le climat, la végétation étant utilisée comme un indicateur de ces facteurs.

L'approche des hydro-écorégions a été initialement développée sur le bassin de la Loire (117000 km^2) dans le cadre d'une convention avec le ministère de l'environnement, en collaboration étroite avec le CRENAM (Université de Saint Etienne et CNRS). Wasson, *et al*. (1995) et Wasson (1996) ont basé leur démarche de régionalisation sur la hiérarchisation des facteurs de contrôle du fonctionnement physique et écologique des hydrosystèmes. Les déterminants "de

premier ordre" sont la géologie, le climat, et le relief qui sont des facteurs facilement cartographiables.

Elle a été poursuivie en Amérique latine sur le bassin amazonien bolivien. Dans le cadre de l'élaboration d'outils de diagnostic pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), la même approche a été appliquée à l'île de la Réunion (située dans la partie ouest de l'océan Indien, dans l'archipel des Mascareignes : île Maurice, Rodrigues, île de La Réunion). Elle a été appliquée également en Guadeloupe (dans l'archipel des Petites Antilles de l'océan Atlantique), en Guyane (situé au Nord Est de l'Amérique du Sud et frontalier avec le Brésil à l'Est et au Sud, et le Surinam à l'Ouest) et en Martinique (île montagneuse tropicale de l'archipel des Caraïbes, située sur l'Arc Antillais, dans l'archipel des Petites Antilles de l'océan Atlantique).

Ce qui démontre le caractère transposable de cette approche dans des contextes géographiques très différents. Le tableau I présente la synthèse des études réalisées sur les hydro-écorégions.

Tableau I : **Synthèse des études sur les hydro-écorégions**

Auteurs	**Années**	**Lieu**	**Critères**	**Nombre hydro-écorégions**
Wasson *et al*.	1993	Bassin de la Loire	Géologie, climat, relief	- 6 HER de niveau 1 - 16 HER de niveau 2
Jean-Gabriel WASSO	2001	Bassin amazonien bolivien	Géologie, climat, relief	- 17 HER de niveau 1 - 33 HER de niveau 2
Jean-Gabriel WASSON, André CHANDESRIS, Hervé PELLA, Laurence BLANC	2002	France métropolitaine	géologie, relief, climat	- 22 HER de niveau 1 - 117 HER de niveau 2
Jean-Gabriel WASSON, André CHANDESRIS, Hervé PELLA	2004	Guadeloupe	géologie, relief, climat	- 2 HER de niveau 1 - 2 HER de niveau 2
		Île de la Réunion	géologie, relief, climat	- 6 HER de niveau 1 -
André CHANDESRIS, Jean-Gabriel WASSON, Hervé PELLA	2005	Guyane	géologie, relief, climat	- 2 HER de niveau 1 - 4 HER de niveau 2
	2005	Martinique	climat, géomorphologie et géologie	- 2 HER- de niveau 1 - 2 HER- de niveau 2

L'hydro-écorégion de niveau 1 (HER-1) est identifiée sur la base des critères de géologie, du relief et du climat. Elle présente une formation géologique unique, un type de relief unique et un type climat unique. C'est le niveau majeur de classification et d'hiérarchisation des HER.
L'hydro-écorégion de niveau 2 (HER-2) est identifiée sur la base des critères morphologiques et hydrologiques des masses d'eau.

L'hydro-écorégion de niveau 3 (HER-3) est le niveau où l'HER est identifiée en considérant, outre les critères de niveau 1 et 2, les critères de diversité biologique, de l'hydrochimie, des facteurs socio-économiques, etc.
Les hydro-écorégions de niveau 2 servent à préciser la variabilité interne des hydro-écorégions de niveau 1 (Wasson *et al*., 2002) et les hydro-écorégions de niveau 3 servent à préciser la variabilité interne des hydro-écorégions de niveau 2.

La démarche repose sur une approche descendante utilisant les déterminants primaires de fonctionnement des hydrosystèmes (géologie, relief, climat) pour la classification (Chandesris *et al.*, 2005). L'approche descendante permet de définir deux niveaux hiérarchiques : le niveau 1 (HER-1) correspond aux grands ensembles géophysiques et climatiques, et le niveau 2 (HER-2) correspond à des variations régionales à l'intérieur de ces types ou, dans certains cas, à des « exceptions typologiques » dans des ensembles par ailleurs beaucoup plus homogènes (Wasson *et al.*, 2002).

De ce qui précède, nous déduisons qu'une hydro-écorégion est une entité spatiale homogène se distinguant par le caractère unique de son climat, sa géologie et son relief.

Dans le cas de cette étude sur le bassin versant de la Pendjari, nous avons choisi d'appliquer la même approche, mais sans aller dans le détail de hiérarchisation et de classification des hydro-écorégions. Nous nous contenterons de déterminer les hydro-écorégions au niveau 1 et de décrire leurs caractéristiques en raison des données et informations disponibles.
La hiérarchisation et la classification des cours d'eau au sein des hydro-écorégions ne doivent pas être confondues à la hiérarchisation ni à la classification des hydro-écorégions.

- **Déterminant :**

Selon le Dictionnaire Universel (éd. 2009), un déterminant est un élément qui amène à prendre une décision ; un facteur qui détermine une action, qui exerce une action spécifique. Le Petit Larousse (éd. 2009) définit un facteur comme étant un agent, un élément qui concourt à un résultat. Pour le Thésaurus (éd. 2010), un facteur est un agent, une cause efficiente, une cause formelle, un catalyseur, un principe actif, un principe à l'œuvre.

Ainsi, nous déduisons en simplifiant qu'un déterminant est un élément ou un agent qui exerce une action spécifique qui concourt à un résultat.

On parlera de facteurs déterminants pour mettre l'accent sur la primauté des déterminants.

❖ **Bassin versant :**

Brunet *et al*. (1992) définissent le bassin versant comme toute étendue qui est en amont d'une station de mesure et dont les eaux "versent" en ce point. Pour Georges et Verger (1996), un bassin versant encore appelé bassin hydrologique ou bassin de drainage, est l'espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui. Amoussou (2005) déduit de ces deux définitions qu'un bassin versant ou bassin de drainage en un point est l'ensemble du territoire drainé par un cours d'eau principal et ses tributaires. Pour lui, les eaux souterraines, qui alimentent les cours d'eau durant les périodes d'étiage, font partie intégrante du bassin versant au même titre que les eaux de surface.

Dans le cas de cette étude, un bassin versant est l'espace géographique drainé par un cours d'eau principal et ses tributaires et a pour limite la ligne de partage des eaux le séparant des bassins versants adjacents. Le bassin versant béninois de la Pendjari est l'espace géographique de la République du Bénin qui alimente la rivière Pendjari.

❖ **Hydrosystème :**

Le terme *hydrosystème* ne figure ni dans le Larousse, ni dans le Robert, ni dans le Dictionnaire Universel de la Langue Française. La notion et le terme d'*hydrosystème* appliqués au bassin versant ont commencé à être utilisés dans les années 1960 par les géomorphologues et les hydrologues anglo-saxons (notamment Chorley, 1962 et Chow, 1965).

Roche (1963) donne la définition suivante pour *"système d'eau"* : « Tout ensemble hydrologique comportant ou non des aménagements : le réseau hydrographique d'un bassin en est un exemple. On dit aussi "système hydrologique".

La définition de l'Encyclopédie AXIS (Dacharry, 1993), indique qu'un *hydrosystème* est : « Une portion de l'espace où, dans les trois dimensions, sont superposés les milieux de l'atmosphère, de la surface du sol et du sous-sol, à travers lesquels les flux hydriques sont soumis à des modes particuliers de circulation. L'*hydrosystème* est le siège, sous l'effet de l'eau, de transformations car, en toutes ses phases, le cycle de l'eau a d'étroits rapports avec d'autres cycles physiques, géochimiques et biologiques de l'environnement terrestre. »

D'après le Glossaire National des SDAGE, O.I.E. (1995), un *hydrosystème* est un "Système composé de l'eau et des milieux aquatiques associés dans un secteur géographique délimité, notamment un bassin versant".

Dans le cadre de ce travail, nous nous limiterons à la définition du SDAGE de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (1996), selon laquelle un ***hydrosystème*** est : « une partie terrestre du cycle de l'eau limitée à un secteur géographique déterminé, notamment un bassin versant et/ou un aquifère ».

❖ Ecosystème naturel

Le terme écosystème a été introduit par le botaniste anglais George Tansley en 1935 à partir du mot grec *Oïkos* qui signifie *habitat* et du mot *systema* qui veut dire *réunion de plusieurs corps en un* ; pour ainsi qualifier l'ensemble d'une communauté végétale et de son milieu considéré comme une unité (Encyclopédie Universelle).

Selon le dictionnaire de Géographie (George, 1984), un écosystème est l'unité structurelle élémentaire de la biosphère définie comme étant une partie de l'espace terrestre émergé ou aquatique, qui présente un caractère d'homogénéité au point de vue topographique, microclimatique, botanique, zoologique, hydrologique et géochimique.

Pour Emmanuel (2003), un écosystème est l'unité écologique de base en laquelle peuvent se réduire les systèmes écologiques plus complexes. Un écosystème est constitué au plan structural par l'association de deux composantes en constante interaction l'une avec l'autre : un environnement physico-chimique, abiotique, spécifique, ayant une dimension spatio-temporelle bien définie, dénommé biotope, associé à une communauté vivante, caractéristique de ce dernier, la biocénose, d'où la relation : Ecosystème = biotope + biocénose (RAMADE, 1998)

Dans cette étude, un ***écosystème*** est défini comme étant un ensemble d'êtres vivants et de leur milieu, considéré comme une unité structurelle élémentaire d'une partie de l'espace terrestre émergé ou aquatique.

Alors, un ***écosystème naturel*** est un écosystème qui n'a pas été sensiblement modifié par l'activité humaine par opposition à un *écosystème artificiel* qui est un écosystème créé par l'homme.

Les écosystèmes naturels dans le cas de cette étude regroupent les écosystèmes aquatiques (les cours et plans d'eau) et les écosystèmes terrestres notamment les formations végétales.

❖ Dynamique des écosystèmes naturels

La clarification de ce concept nous renvoie au concept de « dynamique des états de surface » dont l'expression "états de surface" a été largement explicitée par plusieurs auteurs. En effet, selon Casenave et Valentin (1989), Beauchamp (2001), Vissin (2007) et Amoussou (2010), le terme "états de surface" désigne « un système de surfaces élémentaires à un instant donné, système qui constitue un ensemble homogène au sein duquel les différentes composantes entretiennent des relations fonctionnelles quant au ruissellement et à l'infiltration ». Parmi les surfaces élémentaires figurent le couvert végétal, la surface du sol et son organisation superficielle (Escadafal, 1981). D'après Leduc (1999), la reconnaissance des surfaces élémentaires est ainsi associée à la description du couvert végétal, du couvert minéral et du

micro-relief. Vissin (2007) déduit qu'"on peut donc les définir comme l'ensemble des caractéristiques topographiques ainsi que la structure et les caractéristiques physionomiques de la couverture végétale et des formes d'utilisation du sol".

A la lumière de ce concept et de celui d'"écosystème", il ressort que les états de surface sont les écosystèmes naturels y compris les champs et jachères sans oublier les habitations humaines. Ainsi, dans le cas de cette étude, on entend par dynamique des écosystèmes naturels, le changement des caractéristiques physionomiques du couvert végétal d'un espace terrestre donné (y compris les écosystèmes aquatiques), et des types d'occupation de cet espace.

Il s'agit en fait d'analyser la dégradation des écosystèmes à partir de l'exploitation des cartes d'occupation du sol.

- **Biodiversité :**

Le mot "*biodiversité*" est un néologisme composé à partir des mots biologie et diversité. La biodiversité désigne la diversité du monde vivant au sein de la nature.
L'expression "*biologycal diversity*" a été inventée par Thomas Lovejoy en 1980 tandis que le terme "*biodiversity*" lui-même a été inventé par Walter G. Rosen en 1985 lors de la préparation du "National forum on biologycal diversity" organisé par le National Research Council en 1986 ; le mot "*biodiversité*" apparait pour la première fois dans une publication en 1988 lors que l'entomologiste américain Edward O. Wilson en fait le titre du compte rendu de ce forum. Le mot "*biodiverity*" avait été jugé plus efficace en termes de communication que "*biological diversity*".

En juin 1992, le sommet planétaire de Rio de Janeiro a marqué l'entré de force sur la scène internationale de préoccupation et de convoitises vis-à-vis de la diversité du monde vivant.

La Convention sur la diversité biologique définie de façon formelle la *biodiversité* dans son Article 2 comme étant la "variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces, et entre les espèces et ainsi que celle des écosystèmes".

La biodiversité selon Wilcox (1994), concerne la variété des formes de vie, des rôles, écologiques qu'elles remplissent et la diversité génétique qu'elles contiennent.

La biodiversité, dans le cadre de ce travail est l'ensemble de la divergence des espèces vivantes (végétaux, animaux, micro-organismes, etc.) et des écosystèmes dont elles font partie.

2-2- Cadre méthodologique

2-2-1- Données

2-2-1-1- Données sur le relief et l'hydrographie

Les données brutes utilisées pour le relief et l'hydrographie du bassin versant de la Pendjari sont constituées des altitudes, des pentes et les cours d'eau contenus dans les cartes topographiques notamment les feuilles de Arli NC–31–XX–1/200000, de Sansanne-Mango NC–31–XIII–1/200000 et de Natitingou NC–31–XIV–1/200000, d'équidistance 40 m ; et du modèle numérique de terrain (MNT) de 2009 à une résolution de 30 m. Les cartes topographiques proviennent de l'IGN (Institut Géographique National) de la République du Bénin. Le MNT quant à lui, réalisé par la NASA, a été obtenu sur le site web www.gdem.aster.ersdac.or.jp.

2-2-1-2- Données sur la géologie

Ce sont les ères géologiques et les faciès lithologiques contenus dans les cartes géologiques, notamment les feuilles de Porga, Natitingou, Sansanne-Mango et Kandi à 1/200000 provenant de l'Office Béninois des Recherches Géologiques et Minières (OBRGM) à Cotonou. La carte hydrogéologique du Bénin à 1/600000 provenant de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) a été également utilisée.

2-2-1-3- Données sur la pédologie

Les informations sur les sols du bassin versant de la Pendjari ont été extraites de la carte pédologique de reconnaissance à 1/200000, feuilles de Porga et de Natitingou. Elle est obtenue à l'Institut National de Recherche Agronomique du Bénin (INRAB) à Cotonou.

2-2-1-4- Données sur le climat

Les données brutes obtenues sur le climat sont des séries climatologiques mensuelles de précipitations, de température, d'évapotranspiration potentielle (ETP), d'humidité et d'insolation. Les périodes de couverture de ces données brutes sont détaillées dans le tableau III. Les séries pluviométriques mensuelles concernent les stations de Tanguiéta, Natitingou, Porga, Boukombé, Kouandé, Kèrou, Banikoara, Pama, Fada-Ngourma, Diapaga, Niamtougou, Pagouda, Kara-ville ; celles des températures et de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) sont celles des stations de Natitingou et de Fada-Ngourma. Au total treize (13) stations réparties comme suit ont été utilisées :

- ❖ deux (02) dans le bassin versant de la Pendjari (secteur d'étude),
- ❖ cinq (05) stations des environs immédiats du bassin et localisées sur le territoire béninois,
- ❖ six (06) stations situées aux environs immédiats du bassin et localisées dans les pays limitrophes (Togo et Burkina Faso) comme l'illustre la figure 8.

2-2-1-5- Données hydrométriques

Les données brutes concernant l'hydrologie du bassin versant de la Pendjari sont les séries de débits mensuels des stations de Porga et de Tiélé ; les deux stations hydrométriques installées dans le bassin (Figure 8).

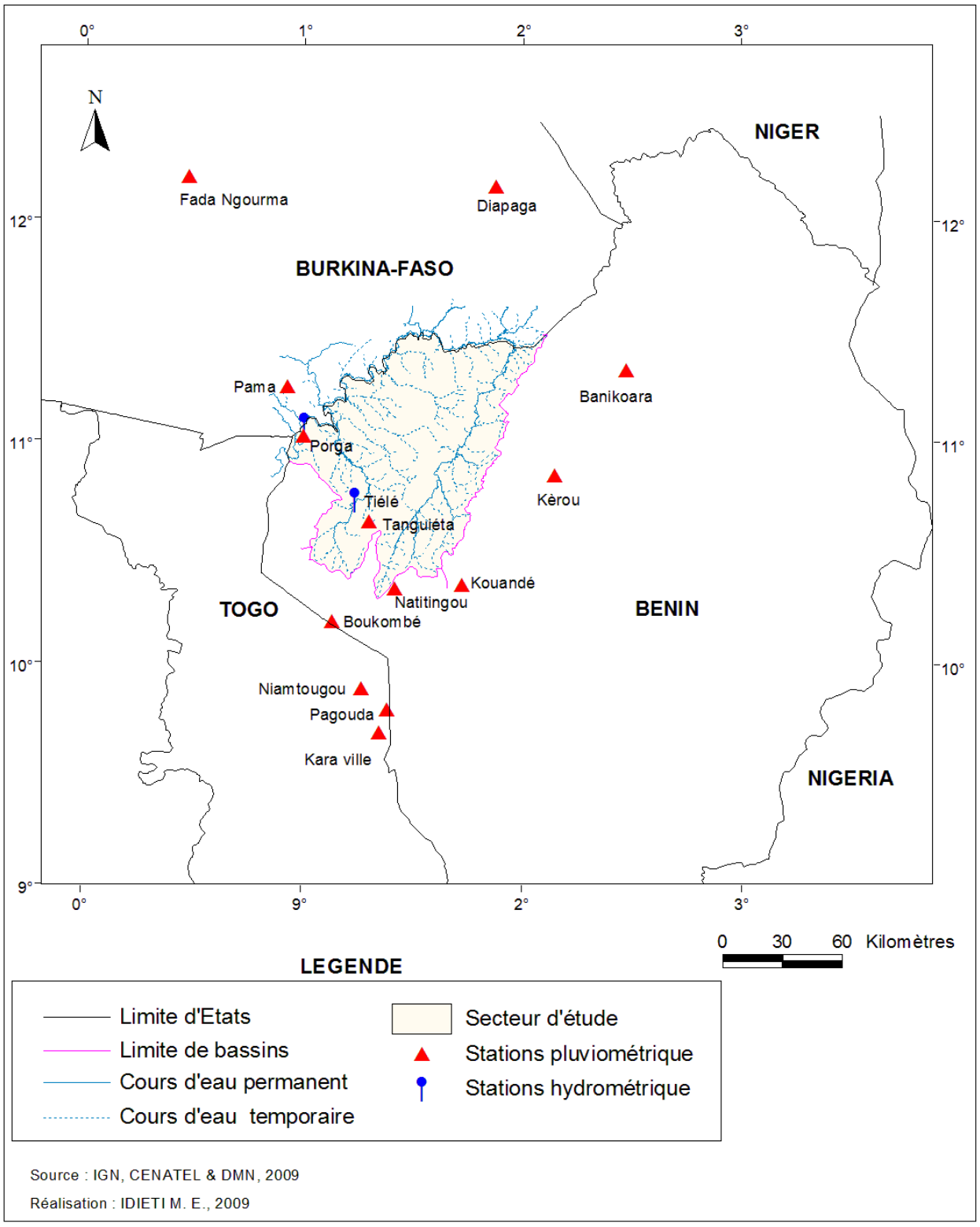


Figure 8 : *Répartition spatiale des stations pluviométriques et hydrométriques des données collectées pour cette étude.*

2-2-1-6- Données sur la dynamique des écosystèmes naturels

Ce sont des données relatives à l'occupation du sol des années 1972, 1990 et 2006, obtenues après traitement des images satellites (Landsat MSS, TM et ETM+). Le choix de l'année 1972 est justifié par l'absence d'images satellites et de photographies aériennes sur tout le bassin dans la période 1961-1970 (Amoussou, 2010). Le choix de l'année 2006 est justifié par le fait de vouloire être conforme à la priode d'étude des séries météorologiques. L'appréciation de l'évolution des écosystèmes naturels est fondée sur la comparaison des surfaces occupées par les différentes formations végétales, par les jachères, les cultures et les masses d'eau pour les années 1972, 1990 et 2006.

2-2-2- Outils de collecte et de traitement des données

2-2-2-1- Outils de collecte des données

Les outils ayant service à la collecte des données ont été de plusieurs ordres.

Pour les enquêtes et observations directes sur le terrain, les outils utilisés sont :

- un guide d'entretien adressé aux paysans, chefs de terres, groupement de femmes et les ménages ;
- un questionnaire adressé aux ONG et institutions administratives déconcentrées ;
- une grille d'observation ;
- un appareil photo numérique pour la prise des photos ;
- un GPS (Global Positioning System) pour prendre les coordonnées géographiques de géo-référencement des données spatiales.
- les bidons pour les prélèvements des échantillons d'eau.

2-2-2-2- Outils de traitement des données

Les différents traitements (cartographie et calculs) ont été faits à l'aide des outils suivants :

- les logiciels de SIG Erdas Imagine et Arc-View 3.2, sous WINDOWS pour le traitement d'images et la cartographie ;
- logiciels KhronoStat et XLSTAT en plus des logiciels usuels de WINDOWS, pour le traitement et l'analyse statistique des données statistiques.

2-2-3- Méthodes de collecte et de traitement des données

2-2-3-1- Méthode de collecte des données

Elle consiste en une exploitation des documents scientifiques généraux et spécifiques, des documents cartographiques, des données statistiques et autres documents pouvant nous aider à améliorer nos connaissances sur le sujet d'étude.

De façon spécifique, les données cartographiques utilisées sont issues des documents planimétriques de l'IGN et du CENATEL.

Quant aux données statistiques, elles sont tirées des bases de données de :

- statistiques climatiques (pluviométrie, températures, ETP, humidité relative, insolation, etc.) de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) de Cotonou ;
- statistiques hydrologiques (débits, lame d'eau écoulée, etc.) du service de l'hydrologie à la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau),
- statistiques sur la démographie des RGPH de 1992 et 2002 de l'INSAE.

Les données qualitatives d'investigations socio-anthropologiques ont été acquises à partir des travaux de terrain. Ces travaux de terrain ont consisté en une enquête préliminaire et une enquête approfondie.

➢ ***Enquête préliminaire :*** Il s'agit d'une pré-enquête au cours de laquelle une exploration du secteur d'étude a été faite. Elle a permis de prendre contact avec les populations et/ou les acteurs de gestion des écosystèmes naturels, d'observer l'occupation de l'espace du secteur d'étude et de vérifier la position des villages ciblés dans l'échantillon par rapport aux cours d'eau. Elle a permis aussi d'améliorer les questionnaires, guides d'entretiens et d'observations.

➢ ***Enquête de terrain proprement dite***

La collecte des données par enquête requiert l'usage de techniques appropriées, sur la base d'un échantillonnage bien élaboré.

- **Technique d'enquête de terrain**

En vue d'évaluer la perception empirique de la dynamique des écosystèmes naturels dans le bassin versant de la Pendjari, l'enquête de terrain auprès des habitants du bassin a été effectuée. La technique utilisée sur le terrain pour l'enquête proprement dite a été l'entretien direct avec le guide d'entretien pour les paysans, et l'administration du questionnaire pour les ONG et services déconcentrés de l'Etat.

- **Echantillonnage**

La technique d'échantillonnage adoptée est une technique de choix raisonné. En effet, sur la base de deux principaux critères (critère de relief et celui de la proximité de cours d'eau), les villages enquêtés ont été choisis.

❖ Critères de relief : le bassin versant de la Pendjari est établi sur deux unités de relief (la plaine et la chaîne de l'Atacora). Les populations installées sur ces deux unités ne vivent pas les mêmes réalités, ce qui suppose qu'elles ont des perceptions différentes. C'est sur cette base que l'échantillonnage a été réparti sur deux secteurs suivant ce critère de relief :

- le secteur de la chaîne de l'Atacora. Il regroupe les habitants installés sur les flancs des chaînons dans le bassin versant béninois de la Pendjari.

- le secteur de plaine. Ce sont les populations installées dans la plaine de Pendjari du côté ouest de la chaîne.

❖ Critères de proximité des cours d'eau :

Le choix des villages à l'intérieur des secteurs su-définis, a été fait en privilégiant les villages riverains aux cours d'eau, sur la base de cartes de relief et hydrographie du bassin versant de la Pendjari (Figure 9). Au total vingt (20) villages dans cinq (05) communes ont été choisis. Le tableau II présente la répartition des villages choisis par commune et par unité de relief.

Tableau II : **Répartition spatiale des villages cibles par commune et par unité de relief pour les enquêtes de terrain**

Unités de relief	**Villages**	**Communes**
Zone de **Plaines**	N'dahonta Yohongou Tiélé	Tanguiéta
	Porga Satiandiga Tantéga Dassari Kotari	Matéri
Zone de **chaîne de montagnes**	Pèporiyakou Yarikou	Natitingou
	Tampégré Nabaga Kouarfa Toukountouna Wabou	Toukountouna
	Tayakou Tchatingou Nanébou Tanougou Batia	Tanguiéta

Source : Résultat de traitement des données spatiales et statistiques, 2009.

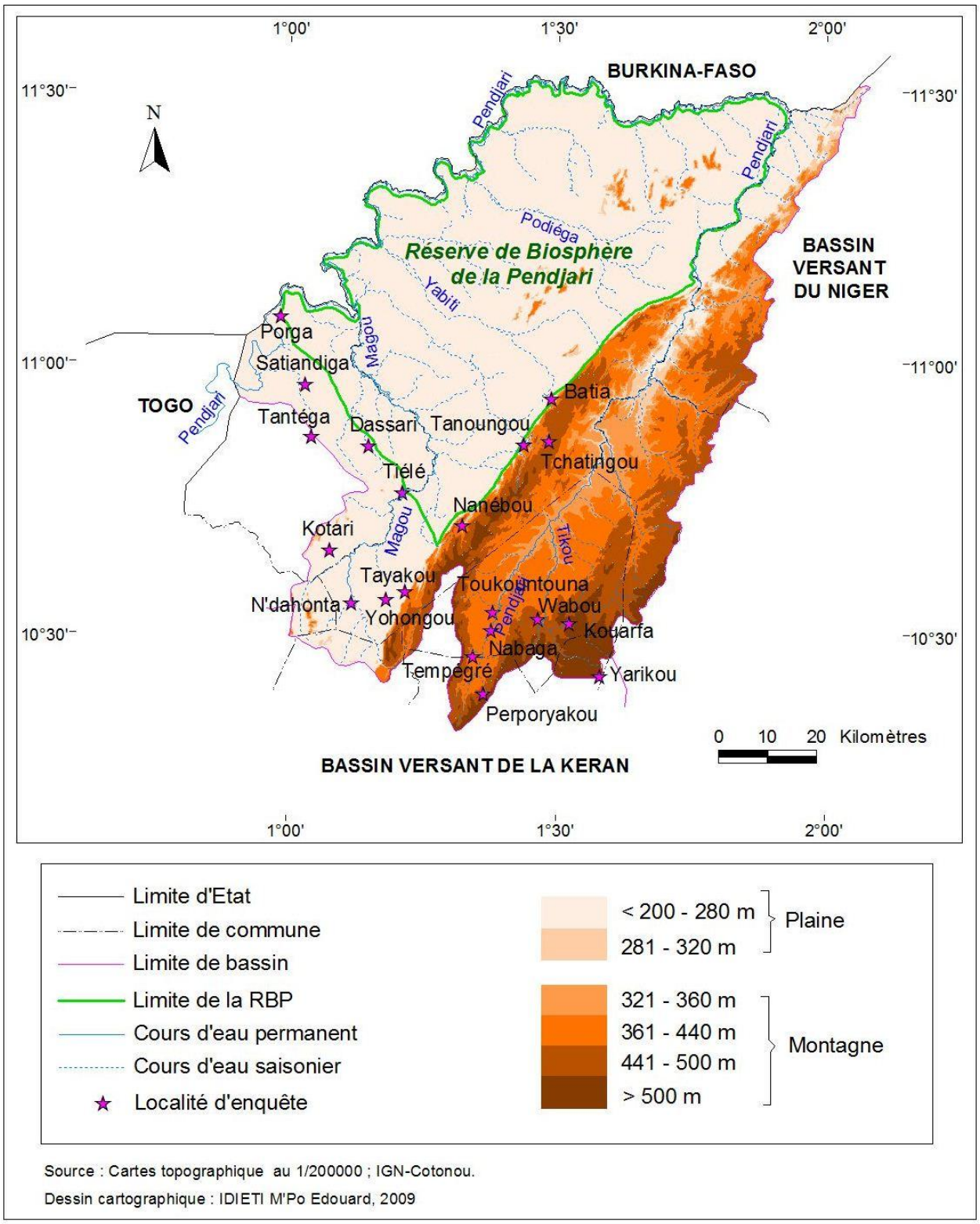


Figure 9 : *Répartition spatiale des localités enquêtées dans le secteur d'étude*

Le choix des personnes enquêtées dans chacun des villages sélectionnés a également été fait sur la base de la technique du choix raisonné. L'échantillon a été obtenu à partir d'une sélection de personnes suivant le critère de catégories socioprofessionnelles.

En effet, le nombre de personnes enquêtées par catégorie socioprofessionnelle est fonction du nombre de villages et de communes. Le nombre de catégories socioprofessionnelles choisies est plus élevé à l'échelle de commune qu'à l'échelle de village. En effet, les catégories socioprofessionnelles (chefs de famille, agriculteurs, éleveurs, pêcheurs, chefs féticheurs) sont présentes dans tous les villages, alors que les ONG, les groupements de femmes et les services déconcentrés de l'Etat se trouvent à l'échelle des communes.

Au total, cent quatre-vingt personnes ont été enquêtées dans le bassin versant béninois de la Pendjari (Tableau III). C'est sur la base de cet échantillon que les travaux de terrain ont été effectués.

Tableau III **: Répartition des individus enquêtés dans le secteur d'étude**

N°	Critères	Nombres	
	Catégories socioprofessionnelles	**Nombre de personnes**	**Total**
1	Paysans – agriculteurs	1 par village	20
2	Paysans- éleveurs	1 par village	20
3	Paysans- Pêcheurs	1 par village (si existe)	20
4	Chefs féticheurs ou chefs de terre	1 par village	20
5	Groupement de Femmes (les responsables ou les plus âgées)	5 femmes par groupement et 1 groupement par commune	20
6	Ménages (les chefs de famille)	2 par village	40
7	ONG intervenant dans la commune dans le domaine de l'environnement	5 par commune	20
8	Services déconcentrés de l'Etat (CeCPA, CENAGREF, Eaux et forêts)	5 par commune	20
	Total		**180**

Source : Résultat de traitement des données, 2009.

2-2-3-2- Méthode de traitement des données

- ***Reconstitution des données climatologiques et hydrologiques***

Les séries de données statistiques climatologiques et hydrologiques du bassin versant de la Pendjari sont de diverses générations, c'est-à-dire de différentes périodes. Il convient de signaler que les séries de quelques stations comportent des lacunes dans des proportions variées. Le tableau IV présente le récapitulatif des stations climatologiques et hydrologiques dans le bassin versant de la Pendjari.

Tableau IV : **Données géographiques, météorologiques et hydrologiques disponibles du bassin versant de la Pendjari**

Type de données	Station	Position			Période de couverture	Etendue de série	Taux de lacune
		Long	Lat.	Alt. (m)			
Pluviométrie	Porga	00°58'	10°52'	142	1964 -1996	33 ans	30,23 %
	Tanguiéta	01°16'	10°37'	234	1937 -2006	70 ans	1,19 %
	Boukombé	01°06'	10°10'	220	1923 -2007	85 ans	4,31 %
	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1921 -2006	86 ans	2,03 %
	Kouandé	01°41'	10°20'	450	1931 -2003	73 ans	8,33 %
	Kèrou	02°43'	10°46'	310	1959 -1998	40 ans	24,48 %
	Banikoara	02°26'	11°18'	300	1954-2008	55 ans	0,0%
	Diapaga	1°47’	12°04’	270	1950-2007	58 ans	1,15%
	Fada Ngourma	0°26’	12°10’	292	1950-2007	58 ans	0,14%
	Pama	0°53’	11°13’	230	1950-2007	58 ans	0,86%
	Kara ville	1°18’	9°39’		1961 -2006	46 ans	0,0%
	Pagouda	1°21’	9°45’	455	1961 -2006	46 ans	0,0%
	Niamtougou	1°06’	9°46’	343	1961 -2006	46 ans	0,0%
ETP	Fada Ngourma	0°26’	12°10’	292	1961 -2005	45 ans	1,912%
	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1961 -2006	46 ans	0,0%
Température	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1926 -2006	81ans	0,0%
	Fada Ngourma	0°26’	12°10’	292	1952 -2007	56 ans	1,34%
Insolation	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1961 -2006	46 ans	0,0%
Humidité Relative*	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1961-1990	30 ans	0,0%
Nébulosité*	Natitingou	01°23'	10°19'	454	1961-1990	30 ans	0,0%
Hydrométrie	Porga	0°58'	11°03'	142	1952 -2006	55 ans	2,88 %
	Tiélé	01°12'	10°43'	176	1961 -1995	35 ans	40,18 %

* = une seule moyenne sur 30 ans (la normale)

Source : Résultat de recherche, 2009.

Les séries qui présentent des lacunes inférieures ou égales à 5% par rapport à la période d’étude ont été comblées.

La fiabilité de correction des lacunes des données de pluies et de débits mensuels dépend essentiellement de la qualité des données existantes, mais aussi de la significativité climatique et hydrologique des unités géographiques à l'intérieur desquelles une homogénéisation entre les stations pourrait être faite (Mahé, 1992).

Les données manquantes ont été comblées à partir de la méthode de Brunet-Moret (1969, 1971 et 1979 ; repris par Amoussou, 2010) selon laquelle par hypothèse de base et à partir de l'hypothèse de l'homogénéité spatiale des précipitations annuelles, les données pluviométriques manquantes

sont comblées par la méthode des doubles cumuls des stations du même domaine climatique. Soit pour une année i, les précipitations mensuelles xi et yi à deux stations x et y peuvent s'écrire : $xi = \frac{\overline{X}}{\overline{Y}} yi + \varepsilon_i$; avec $\overline{X}$ et $\overline{Y}$ étant les moyennes inter-mensuelles aux deux stations sur une longue série. La variance de ε_i, terme aléatoire indépendant tant de la valeur de x_i que celle de y_i est d'autant plus faible que le coefficient de corrélation linéaire entre les stations est plus grand et l'espérance mathématique de ε_i est nulle. Ensuite, une reconstitution de ces valeurs manquantes est faite grâce à la régression linéaire multiple à partir de trois à quatre stations du même domaine climatique.

La nécessité de disposer d'une longueur temporelle suffisante pour étudier l'évolution à long terme et les variations plus rapides (Amoussou, 2010), et d'une période comportant moins de lacunes dans les séries de données, nous a amené à retenir une période d'étude de quarante-six ans (1961 à 2006) selon les données disponibles.

Le choix de cette période est motivé par la nécessité d'utiliser une longue période incluant la normale 1961-1990 (Amoussou, 2010) et pour garder une homogénéité d'analyse de la variabilité et des bilans.

Sur la base de la régionalisation des stations pluviométriques, une seule série pluviométrique représentative de toutes ces séries, a été constituée pour expliquer le comportement des écoulements dans le bassin versant de la Pendjari. En effet, une régression linéaire multiple, c'est-à-dire une régression des moyennes pluviométriques en fonction de trois paramètres que sont la latitude, la longitude et l'altitude, a été utilisée. Ainsi l'estimation de la moyenne par interpolation sur l'ensemble du bassin, à partir de 552 (552 = 46 ans x 12 mois) mesures ponctuelles des treize (13) stations retenues, s'avère nécessaire. C'est une généralisation directe à *p* variables explicatives de la régression linéaire simple. Elle permet de connaître la distribution de chaque variable prédictive à la variable à expliquer en neutralisant l'effet simultané de toutes les autres variables prédictives. Elle consiste ainsi, à estimer, à partir des données expérimentales (x_i, y_i) (i = 1, 2, ….N), les paramètres a_0 et a_1 d'une loi liant les valeurs d'une variable aléatoire *y* à une variable indépendante non aléatoire *x*, selon le modèle : $y = E[y] + \varepsilon = a_0 . a_1^{\,x} + \varepsilon$; où E[y] désigne l'espérance mathématique de la variable aléatoire "y" et ε est une variable aléatoire de moyenne nulle. La moyenne de la précipitation dans le bassin correspondant à la variable indépendante x est donnée par la loi linéaire $a_0 + a_1^{xi}$. Le paramètre a_1 mesurant la sensibilité de E[y] à x, est appelé le coefficient de régression. Ainsi, ce modèle exprime la relation linéaire entre plusieurs facteurs qualitatifs que sont : la latitude, la longitude et l'altitude. Le choix de ces trois variables permet de définir leur influence dans la répartition pluviale du bassin-versant.

Cette précipitation estimée en tout point du bassin est ainsi définie à partir de la grille MNT (modèle Numérique de Terrain) de SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission) qui est une mise à jour du format GTOPO30. Dans le cadre de la présente étude, la grille est de 1 km x 1 km. Ce qui a permis de disposer des coordonnées géographiques et de l'altitude de tous les points de grille du bassin-versant. Après la régression linéaire multiple, les ratios obtenus sont interpolés.

Mais en ce qui concerne les hydro-écorégions identifiées, les séries des stations de Natitingou et de Tanguiéta ont été utilisées.

- ***Variables de la détermination des hydro-écorégions***

Dans le cadre de la détermination des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari, cinq couches d'informations ont été sélectionnées et codifiées à l'aide du logiciel Arc-View du Système d'Information Géographique (SIG). Nous avions envisagé six couches, mais la sixième n'a pu être considérée pour des raisons indiquées dans la section 2-2-3-3 (Etape 2).

- ***La géologie :*** les types de roches et leurs ères géologiques sont déterminés à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/200 000 de l'OBRGM 1989 et 1995.

On y distingue 9 types de roches regroupés en quatre séries appartenant à deux ères :

- Geo1 = Alluvions récentes : Alluvions argilo-sableuses des vallées (Quaternaire)
- Geo2 = Alluvions anciens: Argilites, silts, grès fins = Série de Pendjari (Quaternaire)
- Geo3 = Dépôts pelliculaires argilo-sableux de la Pendjari = Série de Pendjari (Quaternaire)
- Geo4 = Grès, quartzites fins et moyens, siltites, jaspes, schistes argileux = Série de Podiéga (Proterozoïque / Précambrien)
- Geo5 = Quartzites, grès, conglomérats = Série de l'atacorien (Proterozoïque / Précambrien)
- Geo6 = Schistes séricito-quartzeux-quartzites (groupe de Kanson) = Série de l'atacorien (Proterozoïque / Précambrien)
- Geo7 = Quartzites, schistes à séricite, Schistes à muscovite et quartz (Groupe de Tagayéyé et de Kouandé) = Série de l'atacorien (Proterozoïque / Précambrien)
- Geo8 = Gneiss à biotite, à deux micas, amphibole, gneiss à biotite et grenat. Amphibolite à pyroxène et grenat, Paragneiss à muscovite. Filons de pegmatite, gneiss fin ; micaschistes à deux micas = Série de l'atacorien (Proterozoïque / Précambrien).
- Geo9 = Schiste séricito-chlorito-quartzeux-grès- conglomérats-dolomies = Série de Kandé-Boukombé (Proterozoïque / Précambrien).

Le tableau V présente la synthèse des regroupements des faciès géologiques du bassin versant de la Pendjari.

Tableau V: **Regroupement des faciès géologiques du bassin versant de la Pendjari**

Types de roches	Regroupement 1 (Séries)	Regroupement 2 (Eres)
Geo1 Geo2 Geo3	– Série de Pendjari : Geo1, Geo2 et Geo3	– Quaternaire : Geo1, Geo2 et Geo3
Geo4 Geo5	– Série de Podiéga : Geo4	
Geo6 Geo7 Geo8	– Série de l'atacorien : Geo5, Geo6, Geo7, Geo8	– Précambrien / Proterozoïque : Geo4, Geo5, Geo6, Geo7, Geo8 et Geo9.
Geo9	– Série de Kandé-Boukombé : Geo9	

Source : Résultat de traitement des données, 2011.

Une carte géologique des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari a été ainsi établie et présentant :

- une région délimitée par l'ensemble des ***faciès lithologiques du Quaternaire*** regroupant les argilites, silts, grès fins, dépôts pelliculaires argilo-sableux de la série de Pendjari et les alluvions anciennes et récentes.

- une région délimitée par l'ensemble des ***faciès lithologiques du Précambrien*** appelé ***Proterozoïque*** regroupant les grès, quartzites fins et moyens, siltites, jaspes, schistes argileux de la série de Podiéga ; les quartzites, grès, conglomérats ; les schistes séricito-quartzeux-quartzites, schistes à séricite, schistes à muscovite et quartz, les gneiss à biotite, à deux micas, amphibole, Paragneiss à muscovite, filons de pegmatite, gneiss fin, micaschistes à deux micas de la série de l'Atacorien et les schistes séricito-chlorito-quartzeux-grès- conglomérats-dolomies de la série de Kandé-Boukombé.

❖ ***Les altitudes :***

Les altitudes ont été déterminées à partir de la carte topographique à l'échelle 1/200 000 de l'IGN et du Modèle Numérique de Terrain (ASTER DEM, 2009) de résolution 30 m x 30 m. Elles sont réparties en 14 catégories regroupées en deux (02) :

- Alti1 = ≤ 160 m
- Alti2 = 161 – 200 m
- Alti3 = 201 – 240 m
- Alti4 = 241 – 280 m
- Alti5 = 281 – 320 m
- Alti6 = 321 – 360 m
- Alti7 = 361 – 400 m
- Alti8 = 401 – 440 m
- Alti9 = 441 – 480 m
- Alti10 = 481 – 520 m
- Alti11 = 521 – 560 m
- Alti12 = 561 – 600 m
- Alti13 = 601 – 640 m
- Alti14 = ≥ 640 m

- Alti ≤ 160 - 400 m
- Alti = 400 - ≥ 640 m

Une carte hypsométrique du bassin versant de la Pendjari a été établie et présentant distinctement deux (02) régions superposables à celles de la géologie : une ***région à basses altitudes*** à l'ouest (de moins de 160 m à 400 m) et une ***région à hautes altitudes*** à l'est (de 400 m à 640 m et plus).

❖ ***Les pentes***

Les pentes ont été déterminées également à partir des courbes de niveau sur la carte topographique à l'échelle 1/200 000 de l'IGN sur la base de la méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) qui consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la formule :

$$P = \frac{L_{cn} \times E_d}{A}$$

Avec P = Pente (en $^0/_{00}$) ; L_{cn} = Longueur de la courbe de niveau ; E_d = Equidistance,
et A = Superficie de l'aire délimitée par la courbe de niveau.

Le Modèle Numérique de Terrain (ASTER DEM, 2009) de résolution 30 m x 30 m a permis d'établir la carte des pentes. Il en résulte deux (02) catégories de pentes :

- Slop1 = pentes faibles
- Slop2 = pentes fortes

Une carte des pentes du bassin versant béninois de la Pendjari a été obtenue permettant de distinguer également deux (02) régions : une ***région à faibles pentes*** (de 0,2% à 4,3%) à l'ouest et une ***région à fortes pentes*** à l'est (de 4,3% à 77%).

❖ ***L'hydrographie***

Le réseau hydrographique a été extrait de la carte topographique à l'échelle de 1/200 000.

Nous avons fait la classification (Annexe 3) des cours d'eau en adoptant la méthode de Strahler (1952). En effet, dès 1945, Horton s'intéresse à cette question et développe une méthode pour classifier les cours d'eau (Le Pape, 1998). S'étant aperçu que des règles ou des lois statistiques organisent les réseaux hydrographiques, il en a déduit qu'une hiérarchisation était nécessaire (figure 5). En 1952, Strahler poursuit ces études et adapte les lois statistiques proposées par Horton à sa propre classification.

Le principe de classification qu'il énonce est le suivant : il définit un bief comme étant un segment de cours d'eau (Le Pape, 1998).

- tout bief sans affluent est d'ordre ***1***
- tout bief formé par la confluence de deux biefs d'ordre ***n*** est d'ordre ***n+1***
- tout bief formé par la confluence de deux biefs d'ordre différent prend l'ordre du bief le plus élevé. La figure 10 présente les schémas de classification des cours d'eau selon Horton (1945) et Strahler (1952).

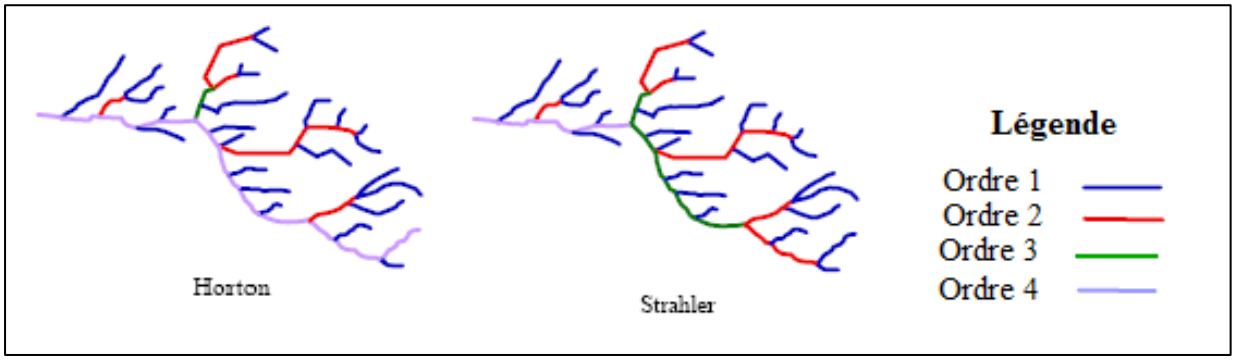


Figure 10 : *Schémas de classification des cours d'eau de Horton (1945) et de Strahler (1952)*

Dans le cadre de la présente étude, la hiérarchisation des cours d'eau a abouti à la distinction de six (06) ordres. La longueur totale et le nombre total de cours d'eau de chaque ordre ont été déterminés.

Le climat : la carte numérisée des champs pluviométriques moyens annuels de 1961 à 2006 a été établie à partir de la série pluviométrique obtenue de la régionalisation. On distingue cinq types de champs pluviométriques regroupés en deux comme suit :

- Pluv1 = 900 – 1000 mm
- Pluv2 = 1000 – 1050 mm
- Pluv3 = 1050 – 1100 mm
- Pluv4 = 1100 – 1200 mm
- Pluv5 = ≥ 1200 mm

- Pluv = 900 – 1050 mm
- Pluv = 1050 – ≥ 1200 mm

➢ ***Les données de la dynamique des écosystèmes naturels***

Il s'agit des données fournies par les cartes d'occupation du sol en 1972, 1990 et 2006. Les types d'occupation du sol identifiés sont :

- les espaces naturels constitués de : forêt dense, forêt claire et savane boisée, savane saxicole, bas-fonds, Afflerements rocheux, masses d'eau,
- les espaces cultivés constitués de : mosaïque de cultures et jachères, plantations, et
- les espaces habités constitués des agglomérations.

La superficie de chacune des unités d'occupation du sol a été déterminée pour chacune des années 1972, 1990 et 2006.

La réalisation des cartes de la dynamique des cours et plan d'eau n'a pas été possible en raison de l'indisponibilité des données nécessaires telles que les cartes et les images de 1972, 1990 et 2006 pouvant indiquer l'évolution des longueurs et superficies des masses d'eau. Nous nous sommes contentés seulement de la perception paysanne sur la dynamique des cours et plans d'eau sur la base de la mémoire populaire des autochtones du bassin versant béninois de la Pendjari.

➢ ***Les données de la variabilité hydro-climatique***

❖ ***Indices pluviométriques***

L'indice permet d'identifier les séquences sèches ou déficitaires, les séquences humides ou excédentaires et les séquences moyennes ou normales sur la période 1961-2006. Cet indice a été déterminé à partir de la formule :

$I_p = (X_i - X_{moy})/\sigma$ où $\mathbf{X_i}$ est la pluviométrie de l'année i, $\mathbf{X_{moy}}$ la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence et $\boldsymbol{\sigma}$ l'écart type de la série.

Les années de sécheresse et d'excédent pluviométrique ont été déterminées à partir du classement ces indices pluviométriques autour de l'intervalle]-1, 1[:

Si I_p< -1, l'année est dite déficitaire ;

Si I_p > 1, l'année est excédentaire ;

Si -1< I_p < 1, l'année est dite normale.

- ***Tendance pluviométrique***

Les tendances pluviométriques ont été mises en évidence à partir des graphiques. Une tendance en pourcentage est obtenue à partir de la formule : $\mathbf{T_d} = (a / X_{moy}).N$; Avec a = coefficient directeur de la droite de régression, X_{moy} = moyenne de la série, et N = nombre d'années de la série.

Il permet d'identifier la série qui a connu une importante baisse pluviométrique (Amoussou, 2010).

- ***Tests de Tendance pluviométrique interannuelle***

Pour vérifier la pertinence de la tendance observée au niveau des précipitations dans le bassin versant de la Pendjari, un test statistique de nature paramétrique a été mis en œuvre et a permis de comparer les résultats des HER de Gourma et de l'Atacora. Il s'agit du test de Student.

En effet, dans un premier temps, la significativité de la différence des moyennes pluviométriques des HER de Gourma et de l'Atacora, a été vérifiée par ce dernier. La probabilité T a été calculée et comparée à la valeur t de la table de Student qui est de 1,96 au risque de 5% et de 2,6 au risque de 1%.

$$T = \frac{\overline{X} - \overline{Y}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n_1-1}(x_i - \overline{X})^2 + \sum_{i=0}^{n_2-1}(y_i - \overline{Y})^2}{N_1 + N_2 - 2}\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}}$$

Avec:

$\overline{X}$et $\overline{Y}$: Moyennes pluviométriques interannuelles des deux séries considérées;

x et y : Séries des HER de Gourma et de l'Atacora,

N_1, N_2 : nombre d'années des séries

L'hypothèse H0 est que x et y ont des moyennes significativement égales. H0 est acceptée si T est supérieur à la valeur t au risque de 5%.

Dans un second temps, pour mesurer la significativité de la tendance observée, il a été calculée pour chaque série, la statistique U, l'écart réduit (ER) (Gremy et Salmon 1969), comparée à la valeur t de la table de Student comme précédemment.

$$U = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Avec :

$\overline{X}_1$ et $\overline{X}_2$: Moyennes pluviométriques interannuelles de deux périodes considérées (1961-1975, 1976-2006);

σ_1 et σ_2: Ecart-type des séries des deux périodes;

N_1 et N_2: nombre d'années des séries des deux périodes.

❖ ***Détermination du déficit pluviométrique***

Le déficit permet de caractériser le comportement de l'évolution de la pluviométrie entre deux périodes, une antérieure et une récente.

Le déficit pluviométrique a été calculé à partir de la formule utilisée par Vissin (2007) :

$D_h = (M_2 - M_1)/ M_1 * 100$; Avec D_h : déficit hydrique de la pluviométrie; $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{M_2}$: Moyennes respectives des périodes ancienne et récente.

❖ ***Bilans climatiques***

Bilan climatique potentiel

Le bilan climatique est la somme « P – ETP » selon Boko (1988). D'après Sutcliffe et Piper, (1985) cité par Vissin (2007), il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Le bilan climatique permet de mettre en évidence l'évolution de la demande atmosphérique en eau. Ainsi, le climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible (Hufty, 1976, repris par Vissin, 2007 et Amoussou, 2010). Cet indicateur a surtout été appliqué à des régions ayant une saison sèche et une saison des pluies (Vissin, 2007). C'est bien le cas du bassin de la Pendjari au Bénin.

Le bilan climatique du bassin versant de la Pendjari au Bénin a été étudié aux pas de temps annuel et mensuel. C'est le bilan potentiel qui alimente le ruissellement.

Si $P > ETP$, le bilan climatique est excédentaire ; il est déficitaire si $P < ETP$ et équilibré quand $P = ETP$.

Lorsqu'il est positif, le surplus disponible participe à la recharge en eau du sol et à l'écoulement (Sutcliffe et Piper, 1985 ; Vissin, 2007, Amoussou, 2010).

Un mois est dit sec si $P - ½ ETP < 0$;

Si $P – ETP < 0 < P - ½ETP$, le mois est pré-humide ou pré-sec (post-humide) ;

Si $P - ETP > 0$, le mois est dit humide.

Bilan climatique réel

Si le bilan climatique potentiel P – ETP alimente le ruissellement, l'écoulement quant à lui est alimenté par le bilan climatique réel (B_r**)** qui prend en compte l'eau des premiers horizons du sol. C'est en fait ce que Vissin (2007) désigne par apports pluvieux exprimés par les pluies efficaces qui déterminent le rythme des excédents ou des déficits en eau, c'est-à-dire la différence entre la somme des abats pluviométriques et la valeur de l'évapotranspiration réelle (ETR). Ces apports conditionnent en effet le surplus disponible pour la recharge en eau du sol et pour l'écoulement (Sutcliffe et Piper, 1985 ; Le Barbe *et al.*, 1993). Ils sont donnés par la formule suivante :

$\boldsymbol{P_n = P - ETR}$ **,** avec : $\mathbf{P_n}$= apports pluvieux, ou pluie efficace = Bilan climatique réel en mm ; **P** = pluie totale annuelle en mm ; **ETR**= évapotranspiration réelle en mm.

Ceci nous amène à l'estimation de l'évapotranspiration Réelle (ETR).

En effet, l'ETR correspond à la quantité d'eau du sol commomée par les plantes. Elle est fonction de l'ETP et de la quantité d'eau présente dans le sol (Amoussou, 2010). L'ETR s'obtient par la formule : $\boldsymbol{ETR = \alpha.ETP}$

Le coefficient $\boldsymbol{\alpha}$ qui traduit la disponibilité en eau dans les premiers horizons du sol est très souvent inférieur à 1. Il faut, pour l'exprimer de façon rigoureuse, connaître à la fois le stock d'eau présent dans le sol et les résistances opposées par le système sol/végétation à l'évaporation (Amoussou, 2010).

Tout comme Vissin (2007) et Amoussou (2010), nous avons adopté la même hypothèse que Sutcliffe et Piper (1986), à savoir :

- si $P_i > ETP_i$, $\alpha = 1$ (Pi = pluie mensuelle en mm et ETP_i = évapotranspiration potentielle mensuelle en mm). Dans ce cas, $\boldsymbol{ETR = ETP}$ (en mm), et donc $\boldsymbol{P_n = P - ETP}$

- si $P_i < ETP_i$, $\alpha = P_i/ETP_i$; Dans ce cas, $\boldsymbol{ETR = P}$ (en mm), et donc $\boldsymbol{P_n = P - P = 0}$, le bilan climatique réel est nul.

La formule de Turc (1955) a été utilisée également pour calculer l'ETR annuelle. Elle est écrite à partir des précipitations et des températures comme suit :

$$\mathbf{ETR} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{(0{,}9 + P^2 / L^2)^{½}}}$$

$\mathbf{L = 0{,}05T^3 + 25T + 300}$

P = Pluviosité moyenne annuelle (en mm)

T = Température moyenne annuelle (en °C)

ETR en mm par an

❖ ***Bilan hydrologique***

Le bilan hydrologique rend compte des entrées et des sorties d'eau à l'échelle du bassin versant en fonction des précipitations (**P**), de l'écoulement/ruissellement (**R**) (débit à l'exutoire), de l'évaporation (**E**) et de l'infiltration (**I**).

Il permet d'estimer les ressources en eau du bassin, d'évaluer l'impact des fluctuations pluviométriques sur les autres paramètres du bilan et de mettre aussi en évidence la relation existant entre la sécheresse pluviométrique observée depuis 1970 et la sécheresse hydrologique (Vissin, 2007).

Le bilan hydrologique (Le Barbé *et al*. 1993) au cours d'une période, a été calculé sur la base de l'équation suivante:

$P = E + L + I + (S_1 - S_0)$ avec,

P = pluie, en mm

E = évaporation, en mm

L = écoulement, en mm

I = recharge (infiltration), en mm

$S_1 - S_0$ = variation du stock d'eau présent dans le bassin, en mm

Des cinq termes de cette équation, deux (**I** et **$S_1 - S_0$**) ne sont pas quantifiables par des mesures directes.

Pour diminuer le nombre d'inconnues, ($S_1 - S_0$) est supposé négligeable (Vissin, 2007). L'infiltration constitue l'élément fondamental de la recharge de la nappe, elle ne peut donc être négligée.

Estimation de l'Evaporation (E)

Elle est obtenue suivant la même méthode que l'estimation de l'évapotranspiration Réelle indiqué plus haut. ***E = α.ETP***

Evaluation de l'écoulement

On distingue deux (02) grands types d'écoulement à savoir : les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires, qualifiés de « rapides » et par opposition, les écoulements souterrains qualifiés de « lents » qui représentent la part infiltrée de l'eau de pluie transitant lentement dans les nappes vers les exutoires (Musy, 2005).

Pour les rivières drainant les formations de socle où la contribution des nappes souterraines aux écoulements est négligeable (Vissin, 2007), l'apport de ces écoulements souterrains qualifiés de « lents » dans les nappes vers l'exutoire est aussi négligeable (parce qu'il n'est pas mesuré/quantifié et connu dans le cadre de la présente étude). L'écoulement représente les eaux de pluie qui gagnent rapidement les exutoires qualifiés de « rapides».

Face à la seule station hydrométrique fonctionnelle du bassin (Porga), l'écoulement est connu à partir de la lame écoulée mesurée directement à la station hydrométrique de Porga ou calculée à partir des débits.

Estimation de l'infiltration

Sa valeur n'est que le solde du bilan hydrologique, les autres termes du bilan étant eux-mêmes connus avec une certaine imprécision sauf la pluviométrie (P). Cette imprécision se répercute sur l'infiltration estimée. Du fait de ces incertitudes, l'infiltration n'est pas assimilée directement à la recharge de la nappe. Cependant, l'analyse de ce paramètre peut permettre de suivre l'évolution de la recharge de la nappe dans le bassin de la Pendjari comme l'avait montré Amoussou (2005) sur le Couffo.

La formule de calcul de l'infiltration est définie comme suit : **I = P − (L + E)**

I : infiltration (mm) ; **P** : pluie (mm) ; **L** : écoulement (mm) ; **E** : évaporation (mm).

- ***Le coefficient d'écoulement***

Le coefficient d'écoulement (C) traduit la capacité de ruissellement du bassin (Vissin, 2007). Il est déterminé à partir de la formule : **C = L/ P ×100 ;** Avec **L** : l'écoulement et **P** : la pluie.

Il évolue suivant les variations pluviométriques et souligne les différences de comportement entre les pluies et les écoulements. Il doit aussi permettre de mettre en évidence le fonctionnement hydrologique différentiel des formations de grès sédimentaires et du socle du bassin du Niger au Bénin comme l'avait souligné Vissin (2007) sur le bassin du Niger.

- ***Détermination du déficit d'écoulement***

Le déficit d'écoulement représente selon Musy (2005), les pertes d'eau dues à l'évaporation. C'est aussi la différence entre les précipitations tombées sur le bassin et le volume d'eau écoulé à l'exutoire selon Amoussou (2005). Nous le définissons comme étant la perte d'eau enregistrée en une période de temps donnée, due aux effets combinés du déficit pluviométrique, des modifications du couvert végétal et des actions anthropiques, sans oublier la perte d'eau due aux failles et fissures. Il permet d'évaluer le comportement du système hydrologique d'un bassin versant pendant une durée donnée. Il peut être estimé à l'aide de mesures ou des méthodes de calcul.

Dans le cadre de la présente étude, le déficit de l'écoulement a été estimé par des méthodes de calcul. C'est le déficit hydrique de l'écoulement calculé sur des périodes données, à partir de la même formule : $D_h = \boldsymbol{(M_2 - M_1)/ M_1 * 100}$ utilisée par Vissin (2007).

D_{he} = déficit hydrique ; $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{M_2}$ = Moyennes respectives des périodes ancienne et récente.

2-2-3-3- Méthode de cartographie des hydro-écorégions

- ***Critères d'identification des hydro-écorégions***

A l'instar des précurseurs de l'approche des hydro-écorégions, le choix des critères repose sur la considération des facteurs primaires du fonctionnement physique et écologique des hydrosystèmes (climat, relief et géologie). Chaque critère est défini par un ensemble cohérent des variables élémentaires décrites plus haut.

Le tableau VI suivant présente la description des principaux critères d'identification et de délimitation des hydro-écorégions.

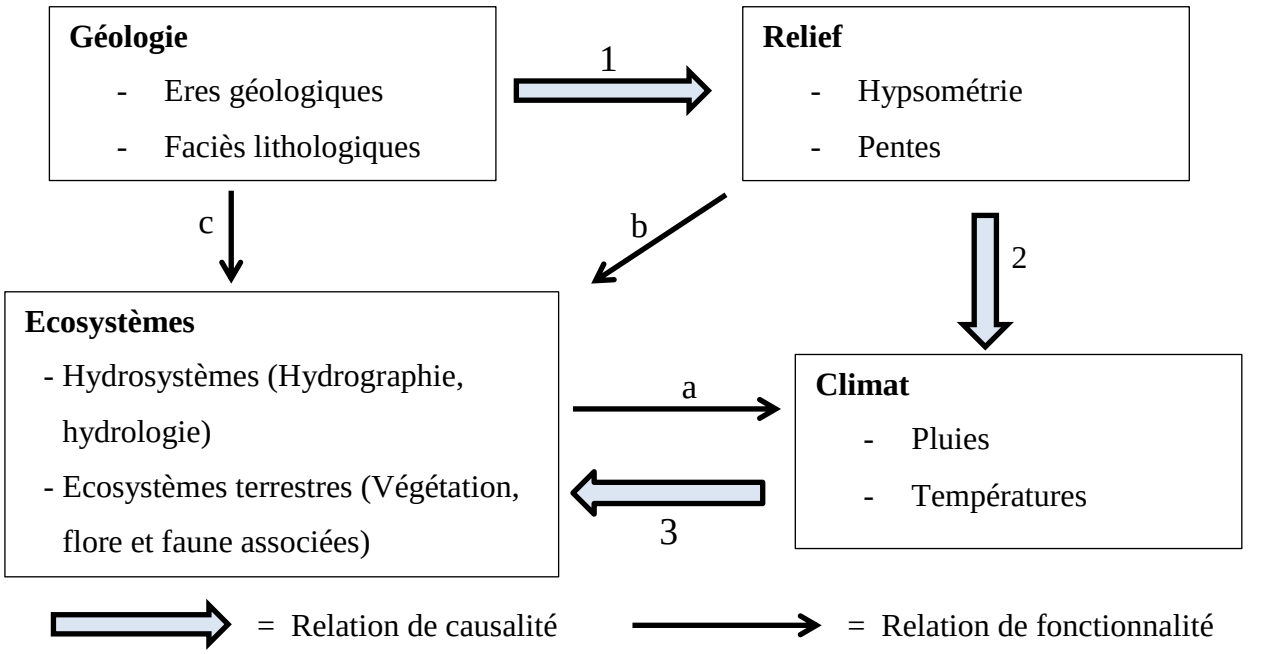
Tableau VI : C**ritères d'identification et de délimitation des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.**

	Critères de délimitation		
	Climatiques	*Reliefs*	*Géologiques*
Critères d'identification	- Précipitations moyennes annuelles - Températures moyennes annuelles	- Altitudes des terrains (hypsométrie) - Pentes des terrains	- Ere géologique - Nature du substratum rocheux (les faciès lithologiques)

Source : Résultats de recherche

L'homogénéité d'une hydro-écorégion est basée sur la concordance des relations entre les critères d'identification. Ces relations sont établies comme suit : la géologie explique le relief en place qui à son tour explique le type de climat et l'écoulement hydrologique. Le relief et le climat influencent à leur tour déterminent le fonctionnement des écosystèmes (les types de masse d'eau, les sols et les formations végétales).

La figure 11 présente le schéma des relations entre les critères d'identification des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.



1 = Le relief est formé par les événements de la géologie

2 = le climat du milieu est dû au relief (le relief influe sur la variation climatique)

3 = les écosystèmes en place sont inhérents au climat du milieu : les conditions climatiques déterminent la structure spatio-temporelle du réseau hydrographique, des sols et de la végétation.

a = les conditions climatiques dépendent des écosystèmes en place : L'importance des précipitations dépend du couvert végétal et de l'importance des masses d'eau.

b = Le fonctionnement des écosystèmes dépend du relief du milieu : Les conditions altitudinales et de pentes ont un effet sur la répartition spatio-temporelle du réseau hydrographique et de la végétation.

c = Les structures géologiques et pédologiques ont un effet sur les bilans hydrologiques.

Figure 11 : *Schéma conceptuel des relations entre les critères d'identification des hydro-écorégions du bassin de la Pendjari*

Source : IDIETI M. E., 2011

L'identification des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari s'est effectuée en deux (02) étapes sur la base de la méthode cartographique.

Etape 1 : ***Mise en place d'un SIG pour la cartographie des hydro-écorégions***

Il s'agit de la reproduction des extraits de cartes géologique, de sols, d'hypsométrie, des pentes, du réseau hydrographique, des champs pluviométriques/isohyètes, des températures, sur le bassin versant de la Pendjari. Chaque extrait de carte a été reproduite suivant la même méthode de la cartographie échelonnée en quatre (04) sous-étapes : acquisition et géo-référencement des cartes de base, digitalisation des couches vectorielles, symbolisation des couches et enfin mise en page.

Sous-étape 1 : *Acquisition et géo-référencement des cartes de base*

L'acquisition consiste à obtenir les cartes de base en fichiers images numériques et les introduire dans le logiciel de cartographie.

Le géo-référencement consiste à choisir sur l'image de la carte de base, des points géodésiques (au minimum quatre points avec le logiciel ArcView et points avec le logiciel ERDAS IMAGINE) remarquables dont on connaît ou détermine les coordonnées, à partir desquelles on réalise le calage dans le système de projection : UTM, Zone 31, Ellipsoïde WGS84, Datum WGS84, Unité mètre.

Sous-étape 2 : *Digitalisation des couches vectorielles*

Elle consiste à créer des couches vectorielles appelées thèmes dans le logiciel ArcView GIS. Les couches extraites sont de diverses formes d'entités (ponctuelles, linéaires ou surfaciques) superposables. C'est au cours de cette étape que les codifications sont faites afin de faciliter plus loin les analyses et interprétations éventuelles. Chaque code est associé à sa signification complète. Ainsi, on a la codification suivante :

- Geo1, Geo2, … GeoN pour la géologie ;
- Alti1, Alti2, …, AltiN pour le relief ;
- Slop1, Slop2, …SlopN pour les pentes ;
- Cours1, cours2, …CoursN pour les types de cours d'eau (permanent ou temporaire) ;
- Ord1, Ord2, …, OrdN pour les ordres hiérarchiques des cours d'eau ;
- Sol1, Sol2, …, SolN pour les sols ;
- Pluv1, Pluv2, …, PluvN pour les champs pluviométriques ou isohyètes ;
- Temp1, Temp2, …, TempN pour les champs de températures.

Il faut noter que pour certaines cartes, en l'occurrence celle des pentes et celle des champs de températures à cette étape, les couches ont été générées automatiquement à l'aide des applications du logiciel. Les couches des pentes ont été générées à partir du MNT (ASTER DEM, 2009). Les champs de températures avec les images satellites LandSat ont été générés en interprétant de façon automatique les bandes dans l'infrarouge (bandes 61, 62, 70 et 80).

Sous-étape 3 : *Symbolisation des couches*

Une fois les couches digitalisées, elles sont éditées et symbolisées (en leur donnant les symboles et les couleurs appropriés) suivant la sémiologie conventionnelle et les règles de la cartographie. Par exemple, les cours d'eau sont représentés par les symboles linéaires en couleur bleue, les masses d'eau par les symboles surfaciques en couleur bleue. C'est à cette étape que ressort la légende de la carte à réaliser.

Sous-étape 4 : *Mise en page*

Après la symbolisation qui a permis d'obtenir la légende, la mise en page est l'étape finale qui consiste à mettre l'ensemble des couches et légende dans un espace disponible et sous un format au choix (format A4, A3, etc.). C'est à cette étape que se font les quadrillages de coordonnées, l'orientation de la carte et l'échelle.

<u>Etape</u> 2 : ***Délimitation des hydro-écorégions***

La délimitation des hydro-écorégions consiste en une superposition des cartes de la géologie, du relief et du climat pour interpréter les concordances des ensembles délimitant des entités plus ou moins homogènes.

En effet, sur la carte géologique, il se dégage deux (02) entités délimitées par les ensembles constitués des variables élémentaires des faciès lithologiques :

- une entité délimitée par ***l'ensemble des roches du Quaternaire*** regroupant les variables Geo1, Geo2 et Geo3. Il s'agit de : argilites, silts, grès fins (Geo1), dépôts pelliculaires argilo-sableux de la série de Pendjari (Geo2) et alluvions anciennes et récentes (Geo3) ; et
- une entité délimitée par ***l'ensemble des roches du Précambrien*** appelé ***Proterozoïque*** regroupant les variables Geo4, Geo5, Geo6, Geo7, Geo8 et Geo9. Ces variables sont constitué de : grès, quartzites fins et moyens, siltites, jaspes, schistes argileux de la série de Podiéga (Geo4); les quartzites, grès, conglomérats (Geo5); les schistes séricito-quartzeux-quartzites (Geo6) , schistes à séricite, schistes à muscovite et quartz (Geo7); les gneiss à biotite, à deux micas, amphibole, Paragneiss à muscovite, filons de pegmatite, gneiss fin, micaschistes à deux micas (Geo8) de la série de l'Atacorien et les schistes séricito-chlorito-quartzeux-grès-conglomérats-dolomies de la série de Kandé-Boukombé.

Ces deux entités se superposent sur la carte du relief, avec également deux (02) entités :

- une entité délimitée par ***l'ensemble d'altitudes relativement faibles*** (Alti ≤ 160 à 400 m) : la plaine de Gourma à l'ouest; et
- une entité délimitée par ***l'ensemble d'altitudes plus ou moins élevées*** (Alti = 400 à ≥ 640 m) : la chaîne de l'Atacora à l'est.

Outre les altitudes, la carte des pentes du bassin versant béninois de la Pendjari a permis de distinguer également deux (02) régions : une ***région à faibles pentes*** (de 0,2% à 4,3%) à l'ouest et une ***région à fortes pentes*** à l'est (de 4,3% à 77%).

La plaine de Gourma repose sur les roches du Quaternaire et la chaine de l'Atacora est composée des roches du Proterozoïque (Précambrien). Sans aller dans les considérations des processus originels de la mise en place du relief du bassin versant de la Pendjari, il faut rappeler sur la base

la concordance des superpositions, que la plaine de Gourma a été formée pendant le quaternaire et la chaîne de l'Atacora pendant le Précambrien.

La superposition de la carte des champs pluviométriques sur celle du relief ne fait pas ressortir une démarcation nette des régions comme celle de la géologie avec le relief. Elle a permis d'observer une nuance de répartition des pluies entre les deux (02) régions démarquées par la géologie et le relief. Les champs pluviométriques les plus ***élevés*** sont concentrés à l'est (pluv = 1100-1200 mm et plus) et les champs pluviométriques les plus ***faibles*** (Pluv = 900-1100 mm) occupe la plaine de Gourma à l'ouest.

Concernant les températures, Boko (1988) remarque que : « Si les variations de la température au cours de l'année peuvent permettre de diviser le cycle climatique annuel en saisons plus ou moins nettes sous les latitudes tempérées, sous les tropiques c'est l'élément "précipitation" qui est le seul critère susceptible de qualifier le passage d'une saison à une autre »; « Il n'en demeure pas moins que la température, sans jouer un rôle primordial, présente aussi des variations cycliques » précise-t-il plus loin.

Ici il ne s'agit pas des variations d'une saison à une autre, mais d'une région à une autre, à petite échelle.

Une des limites dans cette étude est qu'on ne dispose pas des relevés de températures dans plusieurs stations dans le bassin versant de la Pendjari pour établir des cartes des champs de températures à la méthode des isothermes. Les champs de températures établis à partir de les cartes de températures réalisées sur la base des images LandSat, ne permettent pas de démarquer nettement des champs à l'instar des précipitations ni des régions distinguées par le relief et la géologie. Les résultats générés automatiquement par le logiciel n'ont pas permis d'avoir une couverture continue sur l'ensemble du territoire du secteur d'étude (Annexe 2a). Cela est dû à la différence de dates de prise de vue des images satellites disponibles. En effet, à la même année, les images disponibles qui couvrent le secteur d'étude sont de différent mois (l'une en Octobre et l'autre en Décembre).

Cette situation nous a emmené à recourir à la reconstitution des températures à partir du gradient thermique altitudinal et des températures mesurées à la station de Natitingou.

Un g*radient thermique* est une variation continue de la température en fonction d'une variable (ici l'altitude).

Des auteurs tels que Servant-Vildary et Roux (1990), Deparis (2011) ont démontré que le gradient thermique altitudinal est de 0,5°C pour 100 m. Servant-Vildary et Roux (1990) ont démontré, suite à une vingtaine de mesures faites à différentes altitudes (de la Cordière orientale de Bolivie), que « le gradient thermique altitudinal est de 0,54°C pour 100 m. Cette valeur est

proche des valeurs calculées pour l'ensemble des Andes boliviennes ». Deparis (2011) quant à lui explique que dans la troposphère, on observe que la température décroît linéairement avec l'altitude. Son gradient thermique vertical (défini pour l'air ambiant stable, sans mouvements verticaux ni horizontaux) est variable en fonction des masses d'air : dans des masses d'air chaud, il est de 0,3 à 0,5°C pour 100 m d'altitude ; pour les masses d'air froid, il prend des valeurs de 0,6 à 0,8°C pour 100 m. En moyenne, il vaut 0,65°C pour 100 m.

Dans le cadre de cette étude, étant en milieu tropical chaud, nous avons considéré le gradient thermique altitudinal des masses d'air chaud (0,5°C pour 100 m d'altitude).

Ainsi, si T_0 est la température à la station initiale; H_0, l'altitude de la station initiale; G_T, le gradient thermique altitudinal et H, l'altitude de la station finale. La température T à la station finale est donnée par la formule : $\mathbf{T = T_0 - G_T(H - H_0)}$ (Deparis, 2011).

C'est avec cette formule que les températures d'un certain nombre de localités du bassin versant de la Pendjari ont été déterminées, connaissant leur altitude et les températures de la station de Natitingou (Annexe 2b); et les cartes des champs de températures à la méthode des isohyètes (Annexe 2c).

Les champs de températures obtenus, bien que présentant la même configuration que les champs pluviométriques, ont permis de distinguer à l'instar du relief et de la géologie, que la ***plaine de Gourma*** a des températures plus élevées ***(27,1°C à 28,7°C)*** que celles de la ***chaîne de l'Atacora (26,0°C à 27,6°C).***

Nous sommes ainsi parvenu à distinguer deux (02) hydro-écorégions de niveau 1 dans le bassin versant de la Pendjari : l'hydro-écorégion (HER) **de Gourma** et l'hydro-écorégion (HER) **de l'Atacora**.

2-2-3-4- Méthode de caractérisation des hydro-écorégions

Elle consiste à décrire les caractéristiques physiques de chacun des hydro-écorégions sur la base des critères de détermination de ces régions. En effet, pour chaque hydro-écorégion, nous avons :

- ***Les Caractéristiques climatiques constituées de :***

-type de climat ;
-saisons ;
-pluviosité moyenne mensuelle ;
-pluviosité moyenne annuelle ;
- champs pluviométriques/isohyètes ;
-températures mensuelles maximales, moyennes et minimales.

- ***Caractéristiques du relief***

Il s'agit de :

- superficie de l'HER ;
- forme, elle est donnée par l'indice de compacité de Gravélius (1914) K_G calculé à partir de la formule $K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}}$; avec A : la superficie de l'HER (km^2), P : le périmètre de l'HER (km) ; Ici l'HER est assimilée à un bassin versant ; plus K_G est proche de 1, plus le bassin versant a la forme quasiment circulaire et plus KG est supérieur à 1, plus le bassin a de forme allongée ;
- courbes de niveaux ;
- altitudes ;
- pentes ;
- type de vallées.

- ***Caractéristiques géologiques.***

Elles concernent :

- l'ère géologique de formation des couches/faciès lithologiques ;
- la nature du substratum géologique (les faciès lithologiques) et ;
- la perméabilité à l'eau des roches.

- ***Caractéristiques du réseau hydrographique***

Il s'agit de :

- la typologie du réseau hydrographique ;
- la classification et hiérarchisation des cours d'eau (ordre 1, ordre 2, etc.). Chaque niveau est caractérisé par le nombre et la longueur des cours d'eau. Les débits n'ont pu être caractéisés ici parce que les données ne sont pas disponibles pour chaque cours d'eau du bassin.

- ***Caractéristiques agro-pédologiques***

Il s'agit de :

- les principaux types de sols ;
- les terres cultivables ;
- la couverture du sol (en %). Les indices de couverture boisement K et de couverture urbaine ont été calculés à partir de la formule :

$$K = \frac{Superficie\ des\ forêts}{Superficie\ du\ bassin} \times 100$$

➢ ***Caractéristiques physico-chimiques de l'eau***

La qualité chimique de l'eau des cours d'eau et des nappes aquifères a été déterminée à partir des analyses au laboratoire. En effet, des prélèvements ont été effectués sur la base d'un échantillonnage. En ce qui concerne l'eau des nappes aquifères, vingt 20 échantillons ont été prélevés dans cinq (05) différentes localités à raison de quatre (04) prélèvements par localité. Quant à l'eau de surface, vingt (20) prélèvements ont été effectués également dans quatre (04) différents cours d'eau. En effet, sur une section d'un cours d'eau, les prélèvements sont effectués en cinq (05) différents points à raison de quatre (04) points sur les côtés et un (01) au milieu. Les dimensions du cadre de prélèvement dépendent de la largeur de la section du cours d'eau. La planche 1 présente le schéma de prélèvement des cinq échantillons d'eau sur une section d'un cours d'eau.

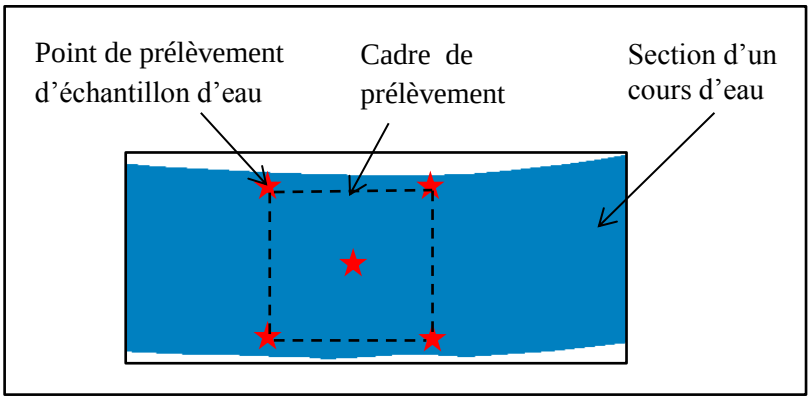


Figure 12 : *Shéma de prélèvement de cinq (05) échantillons d'eau sur une section d'un cours d'eau*

Au total, trente-six échantillons dont vingt (20) échantillons d'eau de surface et 16 échantillons d'eau souterraine, ont été analysés au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Université d'Abomey-Calavi. La figure 13 présente la répartition spatiale de l'échantillonnage effectué pour les prélèvements d'eau.

Les paramètres suivants ont été mis en évidence : température, pH, O_2 dissous, MES, turbidité, conductivité, DBO5, DCO, azote totale, phosphore total, ortho phosphates et les ions majeurs (anions et cations).

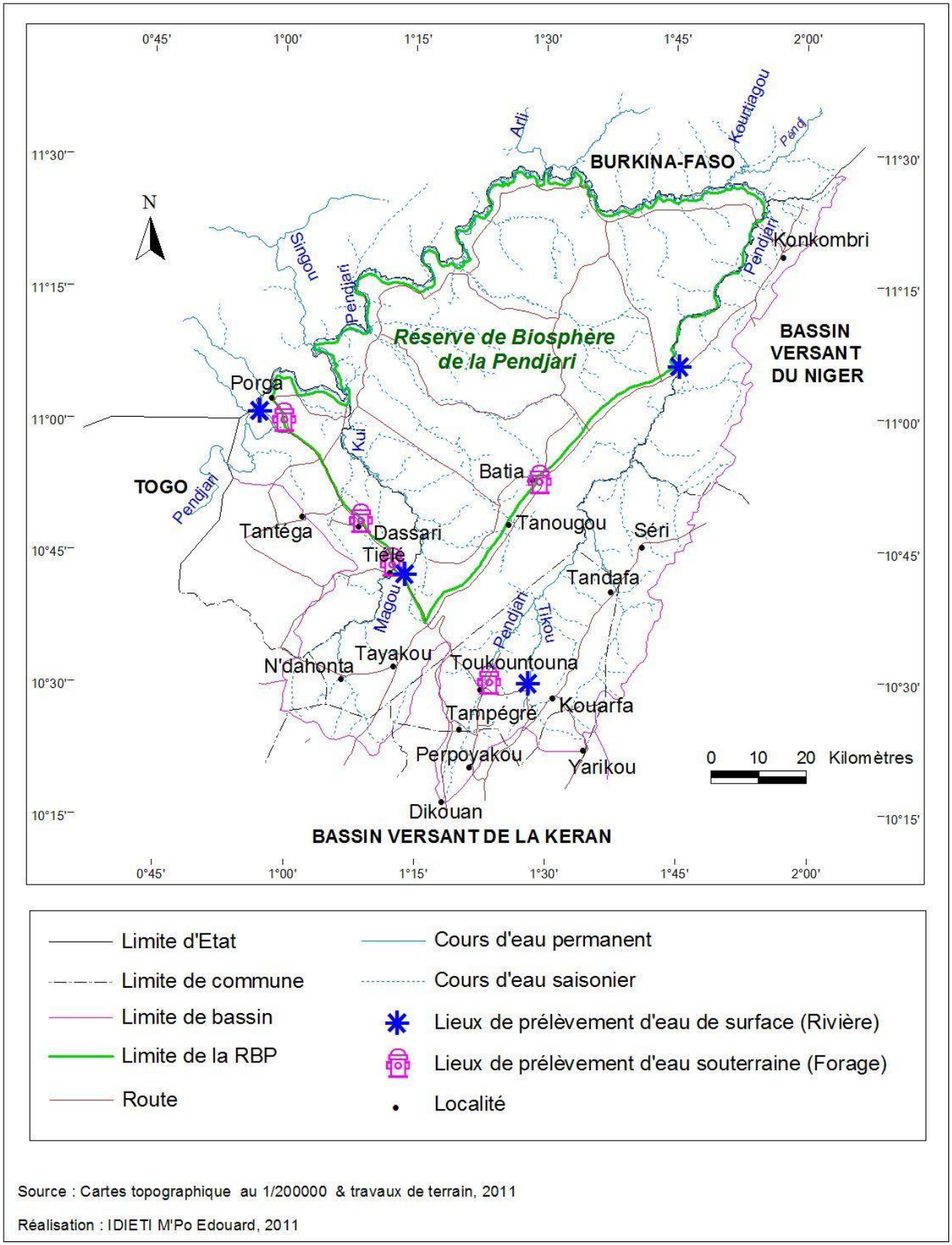


Figure 13 : *Répartition spatiale des points de prélèvement d'eau*

2-2-3-5- Méthode d'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels

- ***Variabilité hydro-climatique***
  - ***Mise en évidence des tendances et recherche de ruptures***

La détermination des tendances thermométriques, pluviométriques et hydrologiques sur la période de 1961-2000 a été faite à l'aide de la méthode de régression linéaire. Elle consiste en une représentation graphique de droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire et permet de déceler la tendance dans la série. L'équation de la droite de tendance de régression linéaire est sous la forme : y = ax + b ; *a* est le coefficient directeur et représente la pente et b une constante. Pour cette étude, **y** représente la pluie, la température ou le débit, de la droite de régression linéaire ; et x représente la valeur correspondant au numéro de la série étudiée. Pour la droite de régression linéaire d'une série pluviométrique de 1961 à 1990 par exemple, y_{1962} = a2 + b ; y_{1990} = a30 + b.

- Si a > 0, on a une tendance à la hausse ;
- Si a < 0, on a une tendance à la baisse.

Une tendance en pourcentage a été également calculée sur chaque station du bassin. Ici, il s'agit du rapport entre le coefficient directeur de la droite de régression sur la pluviométrie moyenne de la série de la station, multipliée par le nombre d'années de la série. Il permet d'identifier si la tendance est significative ou non (Amoussou, 2010).

Les moyennes mobiles sur cinq ans ont été aussi utilisées pour apprécier les tendances.

La technique des moyennes mobiles consiste à lisser les irrégularités en associant aux valeurs y_{ti} d'une chronique de nouvelles valeurs z_{ti} qui sont les moyennes arithmétiques d'une valeur originale y_{ti} et des valeurs qui l'encadrent. Les moyennes mobiles peuvent être calculées sur trois ans (1 valeur de part et d'autre de y_{ti}) ou cinq ans (2 de part et d'autre de y_{ti}) (Vissin, 2007).

Toutefois, il faut aussi rechercher d'éventuelles « ruptures » de stationnarité, la «rupture» étant définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (Lubes *et al.*, 1994 cité par Vissin, 2007). Nous avons adopté la méthode de recherche de rupture de stationnarité utilisée par Vissin (2007) et Totin *et al.*, (2010).

En effet, le test non paramétrique de Pettitt, par sa robustesse à détecter une rupture dans les séries chronologiques pluviométriques a été souvent utilisé (Demarée et Nicolis, 1990 ; Lubès *et al.*, 1994, Ardoin-Bardin, 2004). L'absence de rupture dans une série (Xi) de taille N constitue l'hypothèse nulle H0. La mise en œuvre de ce test suppose que, pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i=1 à t et (Xj), j= t+1 à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} D_{ii} \quad ; \text{ où } D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \text{ avec sgn(x) = 1 si x > 0, 0 si x = 0 et -1 si x < 0}$$

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si k désigne la valeur K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est exprimée approximativement par : Prob ($K_N > k$) ≈ $2\exp(-6k^2 / (N^3+N^2))$

H_0 est rejetée pour un risque α de première espèce donné, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à α. La série comporte alors une rupture localisée au moment où est observé $\max |U_{t,N}|_{t=1,N-1}$.

- ***Paramètres de la variabilité hydro-climatique***

Il s'agit des bilans climatiques et hydrologiques, le coefficient d'écoulement, les déficits pluviométriques et d'écoulement, largement développés plus haut dans la section 2-2-3-2- .

- ***Etude diachronique***

Elle part des images satellites ou des photographies aériennes pour obtenir des statistiques et/ou des cartes d'occupation du sol.

Dans le cadre de la présente étude, trois (03) cartes d'occupation du sol ont été respectivement réalisées à partir de l'interprétation des images Landsat TM et ETM des années 1972, 1990 et 2006 de résolution 30 m x 30 m couvrant 180 km x 180 km. Ces images ont permis la détection du changement à la surface du sol. Les travaux ont été effectués par phases successives.

1ère phase : préparation des images

La préparation des images est l'ensemble des opérations qui permettent de rendre l'image interprétable.

- *La combinaison des bandes*

À l'achat, l'image (données brutes) Landsat ETM est une composition de huit bandes indépendantes en format « tiff » ou « géotiff ». Pour obtenir une image utilisable, il faut combiner les bandes et créer une image en format « img ». Ainsi, six bandes sur les huit ont été combinées pour une image en couleur. La 6ème et la 8ème bande ne sont pas prises en compte dans cette combinaison car la bande 6 est une image panchromatique (noir et blanc) et la bande 8 est une image radar (Amoussou, 2010).

- *La composition colorée*

La composition colorée est la combinaison de trois bandes spectrales et leur affectation respective à une des trois couleurs fondamentales ou primaires disponibles: le bleu, le vert et le rouge. Cette forme donne une image plus interprétable et lisible par rapport à la thématique choisie. Il est possible de réaliser plusieurs types de compositions colorées avec les différents canaux d'une image Landsat, mais seules quelques-unes sont pertinentes (Amoussou, 2010).

En foresterie, on utilise très souvent la composition colorée 453. Il faut noter que l'œil humain est plus sensible aux nuances de rouge que de vert, ce qui explique l'utilisation de la composition 453 ou 432 pour étudier la végétation (forte réflectance de la végétation dans le canal 4 du proche infrarouge).

2ème phase : géo-référencement et photo-interprétation

Après la réalisation de la combinaison des bandes et de la composition colorée, il faut interpréter les images à travers une méthode d'interprétation et d'analyse de ces images appelée photo-interprétation. En effet, la photo-interprétation est la technique qui consiste à identifier les objets sur les photos aériennes ou les images satellites par l'analyse visuelle à partir de critères de reconnaissance établis par le photo-interprète, c'est-à-dire l'utilisation d'une clé d'interprétation (tableau VII).

Tableau VII : Clé d'interprétation des images satellites

Code	Forme	Tonalité	Identification
1	Irrégulière	Rouge vif	Forêt claire
2	Sinueuse	Rouge vif	Galerie forestière
3	Irrégulière	Rouge modéré	Savane boisée
4	Irrégulière	Rouge pâle	Savane arborée
5	Irrégulière	Vert parcouru de fines traces rouges	savane arbustive
6	Effilée	Bleu	Cours d'eau

Source : CENATEL, 2009.

Cette clé d'interprétation est élaborée sur la base de la connaissance du sujet et de la région à étudier, ainsi que de l'expérience du photo-interprète.

Avant cette interprétation, il faut caler la portion d'image qui correspond au secteur étudié. Pour cela, il faut projeter les limites du secteur étudié sur les images et les géo-référencer comme indique à l'étape 1 de la détermination des hydro-écorégions.

Il y a deux types d'interprétation : l'interprétation analogique et la classification. Pour cette étude, c'est la classification qui a été utilisée du fait qu'elle permet de mieux définir les classes. La classification est le procédé qui consiste à regrouper les pixels d'une image en un nombre fini de classes. Si le pixel satisfait à une série de critères, il est affecté à la classe qui correspond à ces critères. Il existe deux approches de la classification : la classification non supervisée et la classification supervisée. Dans le cadre de la présente étude, c'est la classification supervisée qui

a été utilisée du fait qu'elle permet la précision dans les interprétations des paysages en termes d'états de surface (Amoussou, 2010).

Dans la classification supervisée, on sélectionne des groupes de pixels qui représentent des formes (patterns) qui sont caractéristiques d'un type donné d'occupation du sol. En sélectionnant des formes sur l'image, on amène l'ordinateur à identifier des pixels ayant ces caractéristiques.
La classification supervisée consiste donc à choisir des aires d'entraînement qui sont des regroupements homogènes de pixels caractéristiques d'une occupation donnée du sol et à demander au logiciel de classifier toute l'image conformément à ces aires d'entraînement.
Les expérimentations et la connaissance du terrain guident dans le choix des aires d'entraînement dans toutes les classes de formations végétales (Amoussou, 2010).
Cette classification donne un fichier IMAGINE (.img) composé d'une seule couche. On parle alors d'une image thématique. Une table d'attributs est associée à cette image thématique. Cette table reprend, pour toutes les classes, les pixels de l'image originale qui ont été regroupés dans la classe correspondante. Il est également possible d'ajouter une colonne pour spécifier un nom ou un type d'occupation à chacune des classes. Des opérations de lissage permettent de rendre homogènes les différentes classes ainsi définies.
Après toutes ces opérations, il faut passer du fichier Raster au fichier Vecteur. C'est une conversion qui aboutit à la segmentation de l'image. Les unités s'individualisent et chacune d'elles peut être modifiée sans affecter les autres. C'est après cette étape que le fichier est exporté en « Shape file » pour être utilisable dans le logiciel Arc View. Le fichier ainsi obtenu est alors édité pour la finalisation des cartes et l'extraction des statistiques (superficies, pourcentages des unités d'occupation du sol).

3ème phase : édition et mise en forme

Les couches extraites et exportées dans ArcView sont de diverses formes d'entités (ponctuelles, linéaires ou surfaciques) superposables. Elles sont éditées et symbolisées comme indiqué à la sous-étape 3 de la section "détermination des hydro-écorégions".

4ème phase : Mise en page

Elle se produit comme indiqué à la sous-étape 4 de la section "détermination des hydro-écorégions".

5ème phase : contrôle de terrain

Une fois les cartes d'occupation du sol établies, il faut vérifier la réalité sur le terrain de l'existence effective des objets identifiés sur les images et représentés sur les cartes afin de corriger les erreurs éventuelles. Cette vérification s'est faite par une mission de contrôle de terrain.

En effet, le contrôle de terrain a lieu juste après les travaux de laboratoire et l'impression du premier draf de cartes d'occupation du sol. Il consiste à identifier les objets qui sont sur les images représentés en couches d'unité d'occupation du sol sur les cartes, à enregistrer les coordonnées de ces objets et à aller vérifier leur existence sur le terrain. Dans le bassin versant de la Pendjari, les objets identifiés ont été : la galerie forestière du cours d'eau Tikou entre Toukountouna et Kouarfa ; le pont de Tiélé et l'agglomération de Porga. Ces points identifiés sur les images et leurs coordonnées enregistrées dans le GPS ont été retrouvés à travers la recherche de points au GPS.

6ème phase : étude diachronique proprement dite

L'étude diachronique permet alors la comparaison des cartes réalisées (1972, 1990 et 2006) afin de faire ressortir la dynamique des écosystèmes.

Elle consiste à superposer les cartes issues de l'interprétation et l'analyse des images de 1972, 1990 et 2006 pour établir celles de l'évolution de la végétation entre ces trois années. Dans cette étude, nous n'avons pas présenté les cartes de synthèse. Nous avons réalisé seulement un tableau synthèse récapitulant les types d'occupation du sol en 1972, 1990 et 2006 et les évolutions (progression ou régression) enregistrées pour chacun des types d'occupation du sol. La comparaison des évolutions entre les années deux à deux (1972-1990 ; 1990-2006 et 1972-2006) a permis d'évaluer le rythme d'évolution des types d'occupation du sol.

La dynamique des types et/ou unités d'occupation du sol est caractérisée de la façon suivante :

- si la superficie d'un type ou d'une unité d'occupation du sol en année ancienne reste la même qu'en année récente, la superficie de l'unité est ***stable***.
- si la superficie d'un type d'occupation en année ancienne a augmenté en année récente, la superficie de l'unité est en ***évolution progressive***.
- si la superficie d'un type d'occupation en année ancienne a diminué en année récente, la superficie de l'unité est en ***évolution régressive***.

2-2-3-6- Méthode de la détermination du débit écologique

Le débit écologique est par définition le débit minimum requis pour maintenir une quantité et une qualité d'eau nécessaire pouvant préserver l'équilibre écologique dans les eaux courantes et dans la zone riveraine.

Dans le cadre de la présente étude, le débit écologique des rivières du bassin versant de la Pendjari n'a pu être défini pour des raisons de l'indisponibilité des données écologiques nécessaires.

En effet, la détermination du débit écologique nécessite à la fois les données hydrologiques et les données écologiques. Les données hydrologiques sont les débits moyens (journalier, mensuel,

annuel). Tandis que les données écologiques sont constituées de l'inventaire de zoobenthos et de phytobenthos, de l'inventaire de la faune et la flore des zones riveraines des rivières, des données hydromorphologiques (morphologies et profondeurs des rivières).

Lorsqu'il n'y a pas ou très peu de données comme c'est cas dans notre secteur d'étude, il y a lieu de faire des observations sur deux ans au moins afin de disposer des données nécessaires pour l'analyse et la détermination du débit écologique.

Pour ce faire, la méthode écologique nécessite des travaux tels que :

- échantillonnage des sections des rivières ;
- mesures hydrologiques et morphologiques dans la section affectée ;
- échantillonnages des prélèvements d'échantillons d'eau et de substrat aux lieux des sections de rivières effectuées ;
- mesures de profondeurs (bathymétrie) ;
- analyse des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux ;
- granulométrie des substrats des lieux de prélèvement d'échantillons ;
- inventaire de la diversité des organismes aquatiques et de biomasse (zoobenthos et de phytobenthos) ;
- inventaire des macrophytes, de la faune et la flore de la zone riveraine.

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre, il faut retenir que plusieurs auteurs ont travaillé sur les hydro-écorégions. Ces auteurs ont déterminé les hydro-écorégions sur la base des mêmes critères qui sont en fait les principaux facteurs de fonctionnement des écosystèmes d'eau courante. Ils ont permis de constater que l'approche des hydro-écorégions est transposable dans des contextes géographiques différents. Dans ce chapitre, l'accent a été mis aussi sur la description des données collectées et sur les méthodes de d'identification des hydro-écorégions, d'analyse des facteurs de la dynamique des écosystèmes naturels. L'identification des hydro-écorégions repose fondamentalement sur les données géographiques et la méthode cartographique. Quant à l'analyse de la dynamique des écosystèmes naturels, elle repose sur les méthodes d'analyse statistique (calculs des bilans climatique et hydrologique, des déficits pluviométrique et hydrologique, etc.) et d'analyse comparative (études diachroniques d'occupation du sol). La méthode cartographique intervient encore impérativement dans cette dernière.

Cette démarche permet d'identifier et de caractériser les hydro-écorégions dans le bassin versant de la Pendjari.

CHAPITRE 3 :

LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI

Introduction partielle

Ce chapitre présente les hydro-écorégions identifiées et cartographiées dans le bassin versant de la Pendjari et la description des caractéristiques physiques et humaines de chaque hydro-écorégion.

3-1- Hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

L'identification des hydro-écorégions à partir des critères du relief, du climat et de la géologie, a abouti à un découpage du bassin versant béninois de la Pendjari en deux (02) hydro-écorégions de niveau 1(HER-1). Ces deux HER-1 sont : **"HER de l'Atacora"** au niveau de la chaîne de l'Atacora et **"HER de Gourma**" au niveau de la plaine. L'HER de l'Atacora couvre une superficie de 3.528,51 km^2 soit 35,28% de la superficie totale du bassin et l'HER de Gourma occupe 6.473,25 km^2 soit 64,72% de la superficie totale du bassin.

La figure 14 présente les deux hydro-écorégions de niveau 1 identifiées et la hiérarchisation des cours d'eau selon la méthode de Strahler dans chacune des HER du bassin versant de la Pendjari.

Il s'observe sur la figure 14 l'HER de l'Atacora à l'Est (en couleur rouge-claire) et l'HER de Gourma à l'Ouest (en couleur jaune). Il faut noter que l'eau est l'élémént structurant d'une hydro-écorégion. Mais elle n'est pas le critère principal de l'identification et la délimitation d'une hydro-éorégion. Sinon, l'on tomberait dans le piège de la confusion avec les limites de bassin hydrographique. Ce qui justifie le fait que le cours d'eau principal de la Pendjari dans sa partie nord-est n'est pas dans l'HER de l'Atacora.

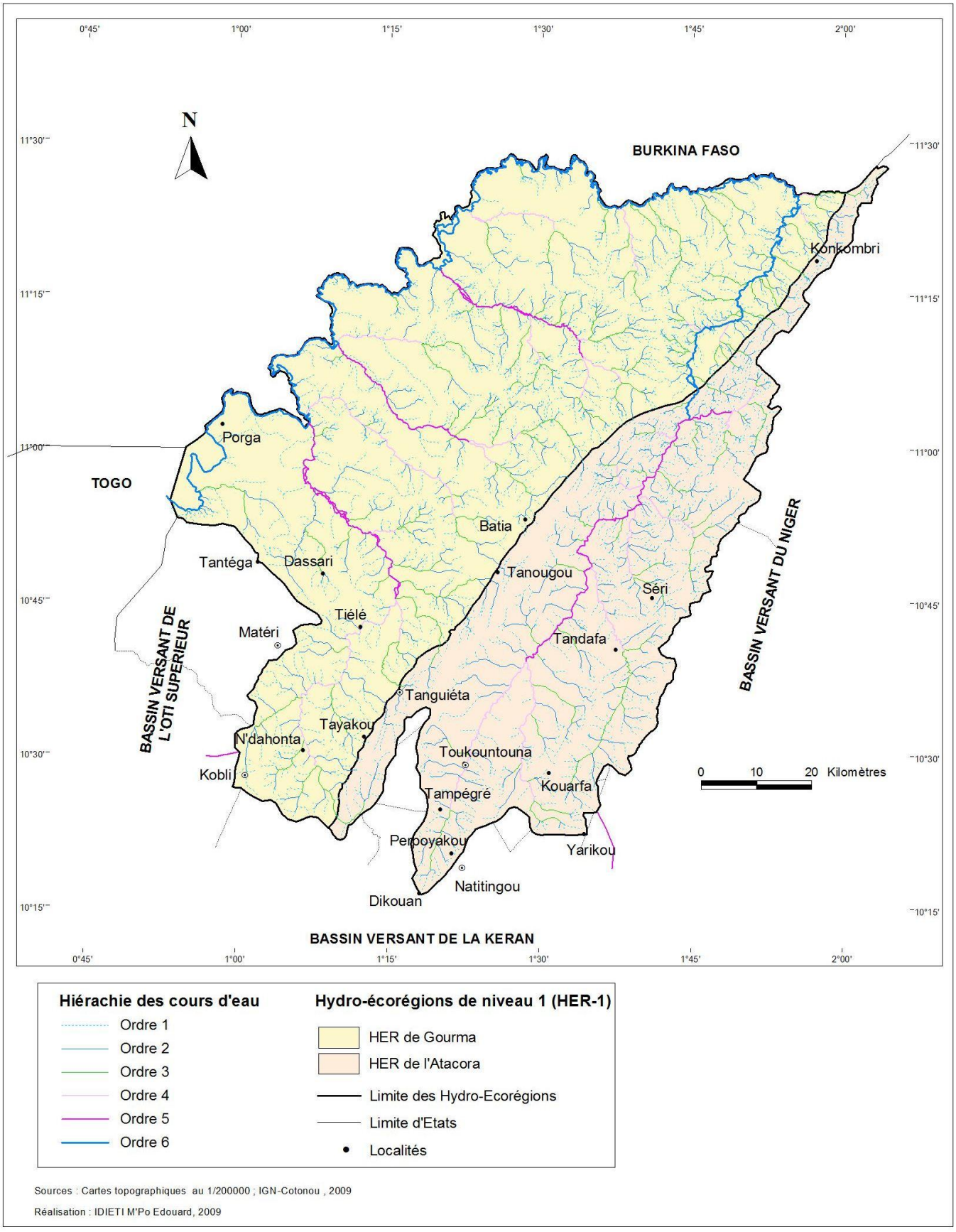


Figure 14 : *Hydro-écorégions de niveau 1 du bassin versant de la Pendjari et Hiérarchisation des cours d'eau (selon la méthode de Strahler)*

3-1-1- Hydro-écorégions à partir des critères géologiques

La figure 15 présente les HER de niveau 1 identifiées à partir des critères géologiques.

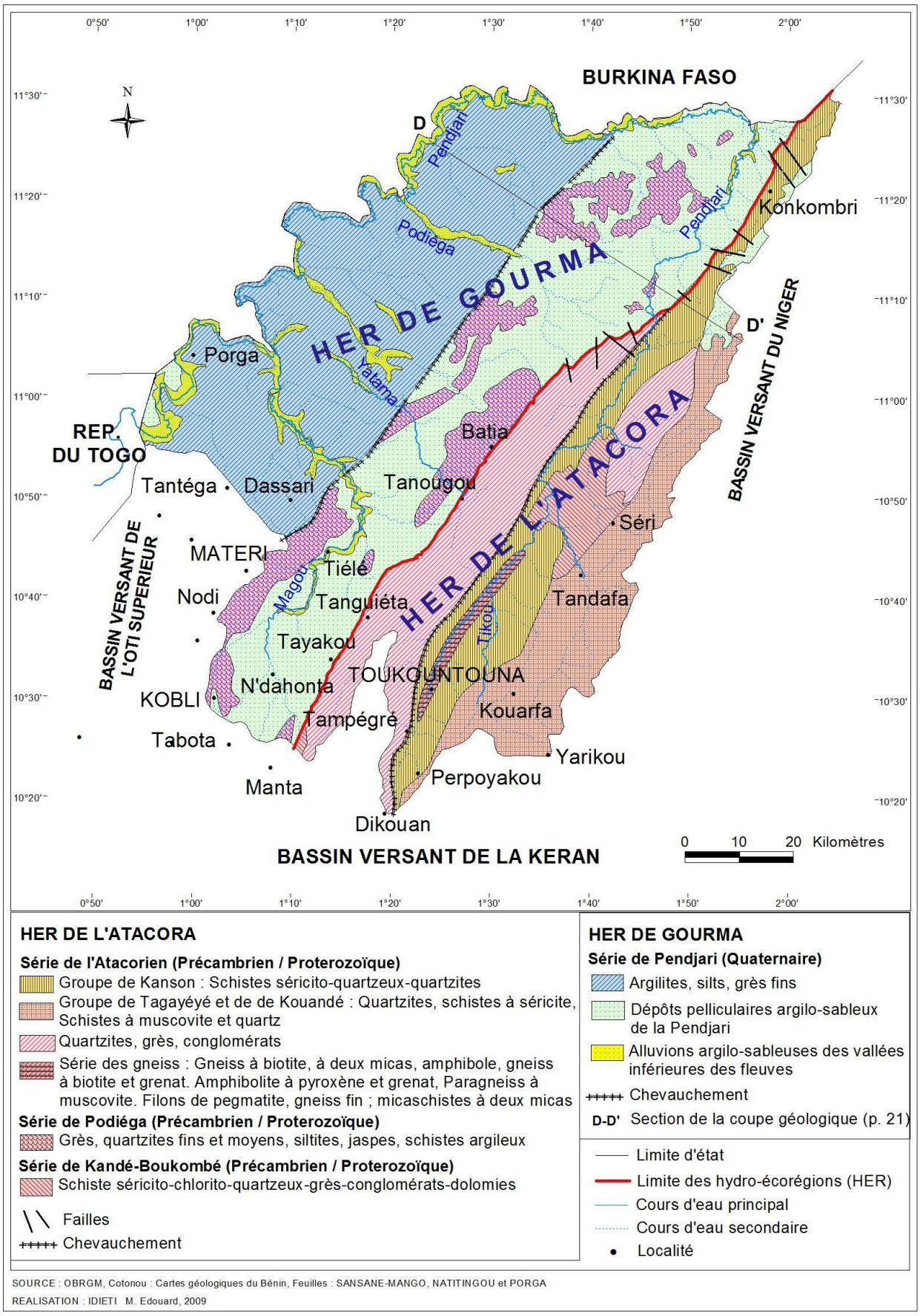


Figure 15 : Unités *géologiques* des *hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

3-1-2- hydro-écorégions à partir des critères de relief

Deux paramètres ont été considérés ici : les altitudes et les pentes. La figure 16 présente les HER de niveau 1 identifiées à partir des altitudes et la figure 17 celles à partir des pentes.

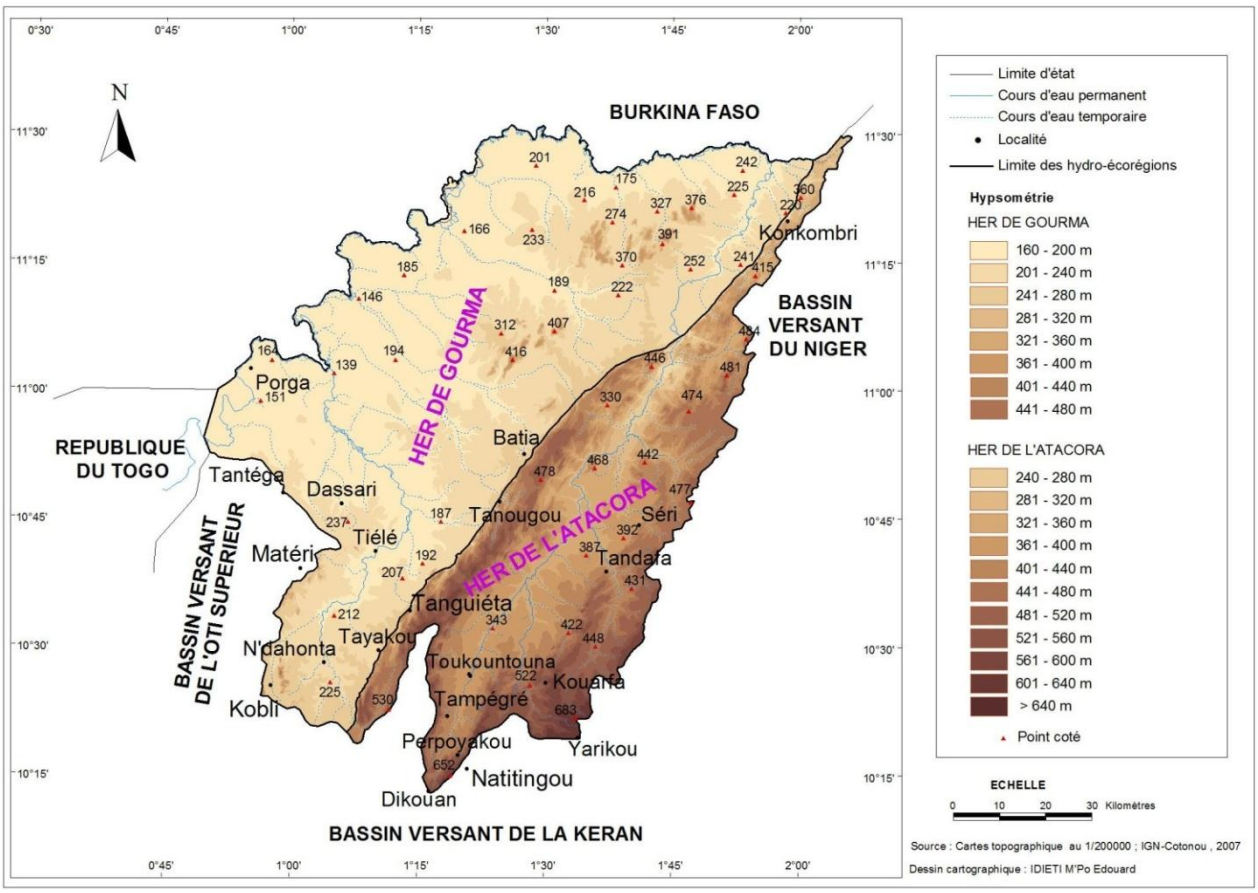


Figure 16: *Altitudes des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

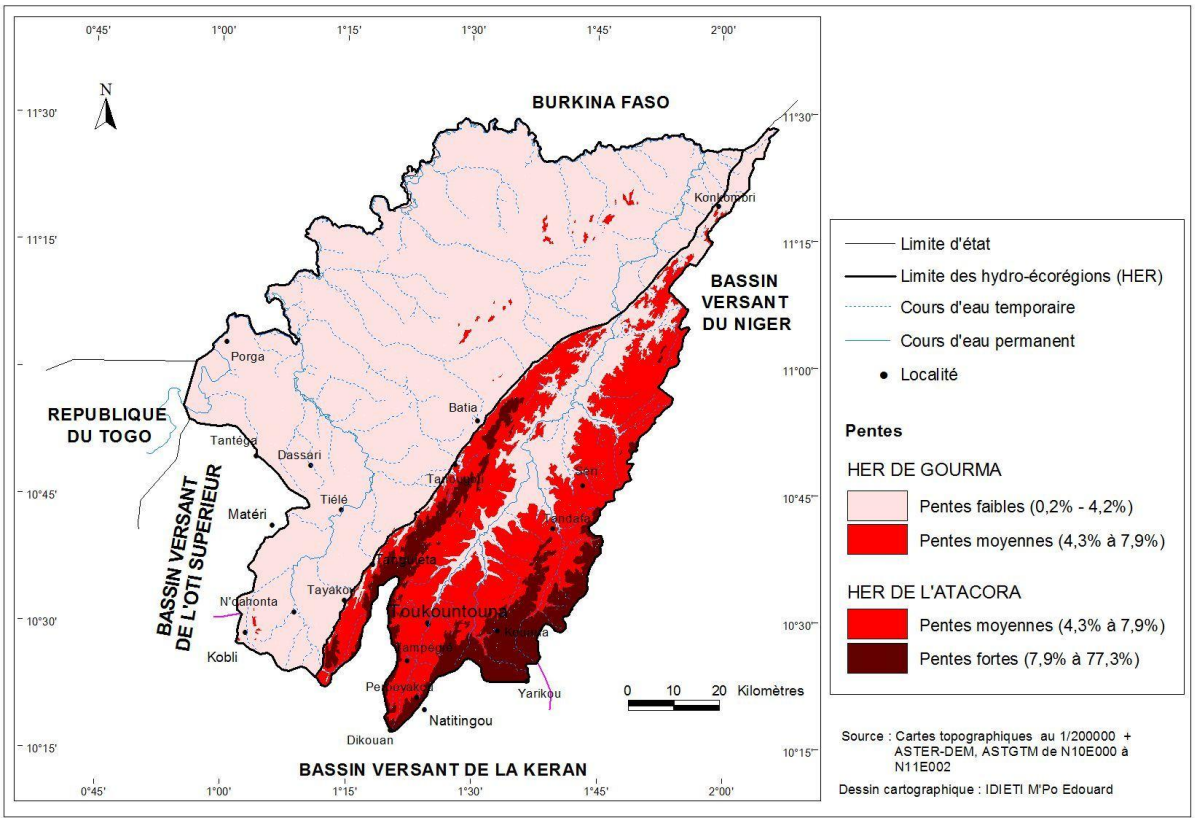


Figure 17 *: Pentes des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

3-1-3- Hydro-écorégions à partir des critères climatiques

Ici aussi, deux paramètres ont été considérés: les précipitations et les températures. La figure 18 présente les HER de niveau 1 identifiées à partir des précipitations et la figure 19 celles à partir des températures.

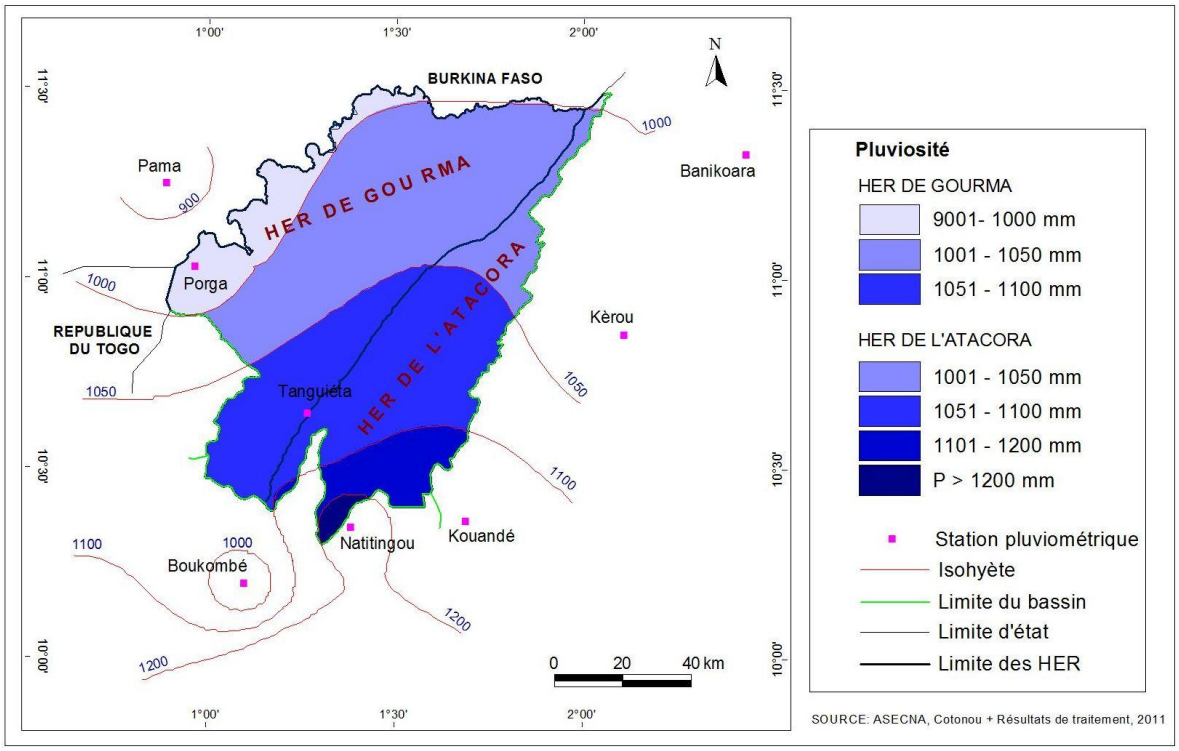


Figure 18 : *Champs de la pluviosité des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari (période 1961-2006)*

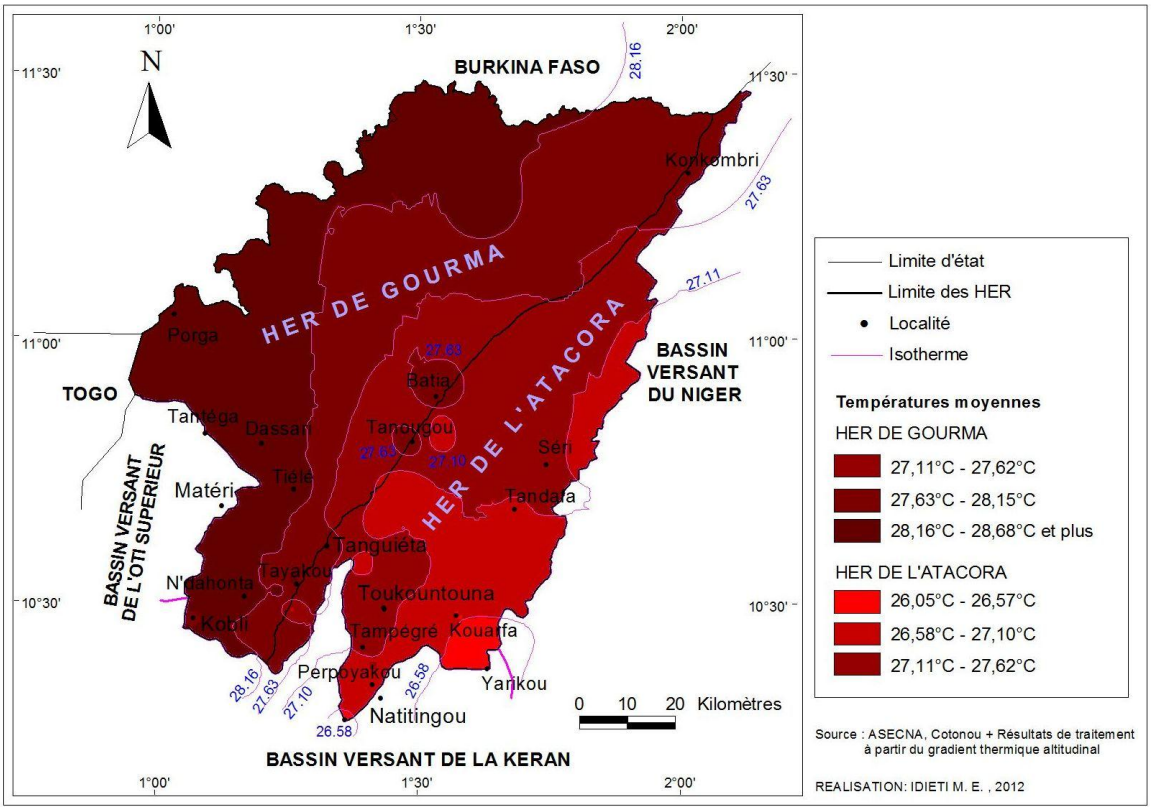


Figure 19 : *Champs des températures moyennes des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari (période 1961-2006)*

3-2- Caractéristiques des hydro-écorégions identifiées

Les hydro-écorégions de niveau 1 déterminées et délimitées dans le bassin versant de la Pendjari nécessitent d'être présentées ou décrites tout au moins sur le plan géophysique. C'est dans cet ordre d'esprit que sont présentées ici les caractéristiques climatiques, topographiques, géologiques, pédologiques et hydrographiques sans oublier certains paramètres physico-chimiques des eaux souterraines et de surface de chaque hydro-écorégion déterminée du bassin versant de la Pendjari (Tableau VIII).

L'analyse du tableau VIII permet d'observer les dissemblances et les ressemblances des caractéristiques entre les deux HER de niveau 1 déterminées. Il convient d'expliquer un peu ces dissemblances et les ressemblances.

En ce qui concerne les caractéristiques climatiques, le type de climat et les saisons sont les mêmes entre les deux (02) HER. La pluviosité est plus élevée dans l'HER de l'Atacora que dans celle de Gourma. Cela peut s'expliquer par l'influence du relief sur la circulation atmosphérique.

En effet, les versants au vent des reliefs reçoivent toujours plus de pluie que les versants sous le vent. D'après Bénévent (1924), l'observation montre que les versants montagneux exposés aux vents humides reçoivent plus de précipitations que les plaines qu'ils dominent. Selon lui, la quantité et la durée des précipitations augmentent encore lorsque les fronts abordent un relief élevé. Il explique le mécanise du phénomène comme suit : « Envisageons d'abord le passage d'un front froid. La masse d'air froid s'insinue sous la masse d'air chaud et la soulève, donnant ainsi naissance à une bande étroite de pluies le long de la ligne de discontinuité. Or la présence d'une chaîne montagneuse empêche l'air chaud qui recule, de s'éloigner de la masse d'air froid qui avance. Pincée entre le front froid et la chaîne, la masse chaude est forcée de s'élever; des précipitations abondantes et continues s'observent alors à une grande distance en avant de la ligne de discontinuité jusqu'à ce que l'air chaud ait été entraîné complètement par-dessus la montagne : ce sont des "pluies préfrontales". Elles sont dues à la fois à un front froid et à des causes orographiques. Les situations les plus favorables aux pluies préfrontales sont celles où le front froid se présente parallèlement à la chaîne; ou bien encore obliquement ». Ce qui semble être le cas de la chaîne de l'HER de l'Atacora. Nous avons indiqué plus haut que la chaîne de l'Atacora est orientée NNE–SSW et que Boko (1988) en expliquant que le bas Bénin se trouve dans "l'ombre portée" des monts Cameroun qui provoquent une déflection de la trajectoire des lignes de grains vers des régions situées au-delà du 9ème parallèle, avait signalé que la dorsale de l'Atacora dévie les perturbations vers le sud-ouest.

C'est ainsi que la présence du relief de l'HER de l'Atacora entraine la diminution des précipitations sur le versant opposé (dans l'HER de Gourma).

Tableau VIII : Caractéristiques physiques des hydro-écorégions (HER) du bassin versant béninois de la Pendjari

Critères de caractérisation				HER de l'Atacora	HER de Gourma
Caractéristiques Climatiques	- Type de climat			Soudanien (Tropical chaud et humide)	Soudanien (Tropical chaud et humide)
	-Saisons			2 saisons : 1 sèche, 1 pluvieuse	2 saisons : 1 sèche, 1 pluvieuse
	-Pluviométrie moyenne mensuelle			196,3 mm	176,7 mm
	-Pluviométrie moyenne annuelle			1231,2 mm (à Natitingou)	1068,5 mm (à Tanguiéta)
	- Champs pluviométriques / Isohyètes			1000 – 1200 mm et plus	900 – 1100 mm
	-Températures mensuelles		-Minimales	16,6°C – 21,1°C	19,2°C – 22,4°C
			-Moyennes	26,1°C – 27,6°C	27,1°C – 28,7°C
			-Maximales	31,3°C – 33,3°C	32,9°C – 34,9°C
Caractéristiques topographiques	Superficie			3528,51 km^2	6473,25 km^2
	Forme			K_G = 2,2 (KG >1): Forme allongée	K_G = 1,8 (K_G >1): Forme allongée
	Relief	Courbes de niveaux	Nombre	167	177
			Equidistance	40 m	40 m
		Altitudes	Alti. Maxi.	640 m et plus	480 m
			Alti. Mini.	240 m	160 m
			Alti. Moy.	460 m	320 m
		Pentes	Pentes moyennes générales	14,5 %	4,1 %
			Pentes entre les Courbes de niveaux	4,3 à 77 %	0,2 à 4,3 %
		Type de vallées		Versants à fortes pentes et fonds de vallées étroits parfois en gorge.	Versants à pentes faibles et fonds de vallées larges et peu profondes.

Caractéristiques géologiques	Eres géologiques			Protérozoïque / Précambrien	Quaternaire
	Lithologie			– **Série de Podiéga** = Grès, quartzites fins et moyens, siltites, jaspes, schistes argileux – **Série de l'Atacorien** = Quartzites, grès, conglomérats ; Gneiss à biotite, à deux micas, amphibole, Paragneiss à muscovite, Filons de pegmatite, gneiss fin ; micaschistes à deux micas ; – **Série de l'Atacorien** = groupe de Kanson : Schistes séricito-quartzeux-quartzites. – **Série de l'Atacorien** = *Groupe de Tagayéyé et de Kouandé* : Quartzites, schistes à séricite, Schistes à muscovite et quartz ; – **Série de Kandé-Boukombé** = Schiste séricito-chlorito-quartzeux-grès- conglomérats-dolomies.	– ***Alluvions récentes*** = Alluvions argilo-sableuses des vallées – **Série de Pendjari** = ***Alluvions anciennes*** : Argilites, silts, grès fins – Série de Pendjari = Dépôts pelliculaires argilo-sableux de la Pendjari
Caractéristiques du réseau hydrographique	Typologie du réseau hydrographique			Type dendritique	Type dendritique
	Classification / hiérarchisation des cours d'eau	Ordre 1	Nombre	1046	1534
			Longueur	1339,28 km	2158,06 km
		Ordre 2	Nombre	258	404
			Longueur	624,02 km	918,36 km
		Ordre 3	Nombre	62	104
			Longueur	258,01 km	545,26 km
		Ordre 4	Nombre	12	24

			Longueur	139,15 km	229,04 km
		Ordre 5	Nombre	2	15
			Longueur	77,72 km	157,64 km
		Ordre 6	Nombre	2	4
			Longueur	7,40 km	394,82 km
Caractéristiques agro-pédologique	Les types de sols			• ***Sols peu évolués*** sur quartzite et micaschistes atacoriens ; • ***Sols ferralitiques***, modaux, sur sédiment meuble argilo-sableux du Continental terminal ; • ***Sols ferrugineux tropicaux*** : - peu lessivés sur gneiss à muscovite et à deux micas, - peu lessivés sur quartzite et micaschiste atacoriens, - lessivés à concrétions sur matérieaux kaolinique issu de quartzite et micaschise atacoriens, - lessivés indurés sur matériau kaolinique issu de gneiss à ferro-magnésiens.	• ***Sols ferrugineux tropicaux*** : - lessivés indurés sur schiste en plaquettes, - lessivés hydromorphes sur schiste en plaquettes, - lessivés hydromorphes sur schiste quartzeux, - lessivés sans concrétions sur jaspe, - lessivés à concrétions sur schiste quartzeux ; • ***Sols minéraux bruts*** sur roche affleurante ou subaffleurante et sur cuirasse ; • ***Sols peu évolués*** : – d'apport, hydromorphes, sur matériau alluvial finement sableux ; – vertisols sur schiste quartzeux; • ***Sols hydromorphes à gley*** sur matériau alluvio-colluvial.
	Couverture du sol	Indices de couverture végétale		75,50%	76,20%

	(en %)	Indices de couverture urbaine		0,32%	0,24%
	Terres cultivables			2 355,85 km^2	1580,07 km^2
Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	Qualité chimique de l'eau des cours d'eau	Conductivité		20 - 31,1 µS/cm	60,1 – 61,4 µS/cm
		pH		7,3 – 7,4	7,8 – 7,9
		O_2 dissous		4,0 – 4,5 mg/L	4,38 – 4,39 mg/L
		MES		2 – 6 mg/L	20 – 28 mg/L
		Turbidité (NTU)		7 - 10	27 – 44
		DBO5		4 – 10 mg/L	0 – 2 mg/L
		DCO		45 – 214 mg/L	21,4 – 80,3 mg/L
		Azote Kjeldhal		< 0,2 – 3,562 mg/L	< 0,2 – 0,562 mg/L
		Ortho phosphates		–	–
		Phosphores totaux	PO_4^{3-}	0,74 – 1,75 mg/L	1,08 – 1,14 mg/L
			$P–PO_4^{3-}$	0,27 – 0,63 mg/L	0,39 – 0,41 mg/L
	Qualité chimique de l'eau des nappes aquifères	pH		5,76 – 7,65	7,93 – 8,61
		Conductivité		35,1 – 597 µS/cm	742 – 1041 µS/cm
		MES		0 – 2 mg/L	0
		Turbidité (NTU)		2	0 – 3
		Oxydabilité		12,4 – 15,11 mg/L	29,77 - 30,22 mg/L
		Azote Kjeldhal (NTK)		0,375 – 0,74 mg/L	< 0,2 – 2,06 mg/L
		Ortho phosphates (PO_4^{3-})		0,18 – 0,36 mg/L	0,09 – 0,43 mg/L
		Phosphores totaux	PO_4^{3-}	0,44 – 0,83 mg/L	0,67 – 0,80 mg/L
			$P–PO_4^{3-}$	0,16 – 0,30 mg/L	0,24 – 0,29 mg/L

Source : *Résultats de traitement des données (2011) ; Analyse physico-chimiques de l'eau (Novembre-Décembre 2011)*

Les différences de températures entre l'HER de l'Atacora et l'HER de Gourma sont liées au fait qu'en montagne, il fait plus froid qu'en plaine (Servant-Vildary et Roux, 1990). En effet, le gradient thermique altitudinal est le seul facteur expliquant que les températures soient plus faibles dans l'HER de l'Atacora que dans celle de Gourma.

En ce qui concerne les caractéristiques topographiques, les pentes sont fortes dans l'HER de l'Atacora avec des vallées en gorge (vallées étroites et profondes) et faibles dans l'HER de Gourma avec des vallées larges et peu profondes.

Quant aux caractéristiques géologiques, l'HER de l'Atacora est constituée de faciès lithologiques plus variés que l'HER de Gourma. En outre, les faciès lithologiques de l'HER de l'Atacora sont des roches dures tandis que celles de l'HER de Gourma sont des roches meubles. Cette situation a deux implications sur le régime hydrologique : (1) la montée des eaux dans les cours d'eau est spontanée dès les premières pluies ; l'absorption de l'eau par le sol étant faible. (2) l'étiage est concomitant à la fin des pluies et le tarissement des cours d'eau est précoce.

Les caractéristiques du réseau hydrographique permettent de constater que le nombre de cours d'eau ainsi que leur longueur totale dans l'HER de l'Atacora sont inférieurs à ceux de l'HER de Gourma.

Les caractéristiques pédologiques quant à elles révèlent que l'HER de l'Atacora comporte moins de types de sols variés que l'HER de Gourma, contrairement à la géologie. Aussi, l'HER de l'Atacora a plus de terres cultivables que l'HER de Gourma. Cela s'explique par le fait que le territoire de l'HER de Gourma est en grande partie (5000 km^2 soit 77%) occupé par la Réserve de Biosphère de la Pendjari (RBP) où il n'y a pas d'activités agricoles.

Concernant les caractéristiques physico-chimiques des eaux, sans aller en détail par paramètre, nous avons seulement commenté quelques paramètres dont les valeurs paraissent critiques. En effet, l'analyse du tableau VIII permet de dire que l'eau de surface dans l'HER de l'Atacora présente une turbidité (NTU) moins élevée (7 à 10) que celle dans l'HER de Gourma (27 à 44). Cette situation est confirmée par les valeurs des matières en suspension (MES) moins élevées également dans l'HER de l'Atacora (2 à 6 mg/l) que dans l'HER de Gourma (20 à 28 mg/l). Cela s'explique par la nature des roches. Il a été indiqué plus haut que les faciès lithologiques dans l'HER de l'Atacora sont des roches dures tandis que ceux de l'HER de Gourma sont des roches meubles.

L'analyse du tableau VIII révèle aussi que la demande biochimique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO) sont très élevées dans l'eau de surface de l'HER de l'Atacora que dans celle l'HER de Gourma. Cela signifie qu'il se produit plus de dégradation des matières organiques avec plus de concentration de polluants inorganiques et organiques dans l'eau de surface de l'HER de l'Atacora que dans l'eau de l'HER de Gourma. Cette situation

serait mieux expliquée suite à de plus amples analyses des eaux à la recherche de ces polluants inorganiques et organiques. L'on ne peut ici qu'émettre des hypothèses que les intrants chimiques agricoles et les pesticides sont à la base de cette situation dans l'HER de l'Atacora. D'autant plus qu'il a été révélé que les superficies cultivées sont plus grandes dans l'HER de l'Atacora que dans celle de Gourma. Les pentes étant fortes dans l'HER de l'Atacora, les eaux de ruissellement apportent rapidement dans les cours et plans d'eau, les engrais et pesticides utilisés dans les champs.

En se référant à la grille multi-usages des critères d'appréciation globale de la qualité de l'eau (Annexe 4), ces eaux sont dans les classes de qualité passable à médiocre. Selon la grille, la qualité de ces eaux est suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé. L'abreuvage des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement mais sa reproduction est aléatoire. Les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.

Quant aux eaux souterraines des HER de niveau 1 du bassin versant de la Pendjari, le tableau VIII nous permet de relever que l'eau de l'HER de l'Atacora est légèrement plus acide alors que la conductivité y est moins élevée que celle de l'HER de Gourma. Tandis que l'oxydabilité est très élevée dans les deux HER mais plus élevée dans l'HER de Gourma que dans l'HER de l'Atacora. Cela signifie que le carbone organique total (COT) présent dans l'eau souterraine est plus important que la demande chimique en oxygène (DCO).

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre, il faut retenir que le bassin versant béninois de la Pendjari est composé de deux (02) hydro-écorégions de niveau 1 : l'hydro-écorégion de Gourma et l'hydro-écorégion de l'Atacora.

L'hydro-écorégion (HER) de l'Atacora repose sur un substratum géologique du Protérozoïque (ou Précambrien) avec un relief montagneux. Quant à l'hydro-écorégion (HER) de Gourma, elle est sur un substratum géologique du Quaternaire avec un relief de plaine.

Les deux HER sont de forme allongée et drainées chacune par un réseau à six (06) ordres de cours d'eau. Elles ont le même climat de type tropical chaud et humide à deux (02) saisons mais, avec une variation au niveau des champs pluviométriques (1050 – 1200 mm dans l'HER de l'Atacora et 900–1050 mm dans l'HER de Gourma). Les caractéristiques physico-chimiques des eaux révèlent que les eaux de surface sont moins troubles dans l'HER de l'Atacora que dans l'HER de Gourma. Quant aux eaux souterraines, elles sont légèrement acides dans l'HER de l'Atacora que dans l'HER de Gourma.

CHAPITRE 4 :

ANALYSE DES DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI

Introduction partielle

La dynamique des écosystèmes d'un milieu dépend à la fois des caractéristiques humaines (socioéconomiques et démographiques) et des facteurs climatiques et géophysiques. En dehors des activités anthropiques, les facteurs géophysiques contribuent également à la répartition et à la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

Dans ce chapitre, il a été présenté d'abord les déterminants environnementaux développés en deux titres (déterminants hydro-climatiques et déterminants géophysiques de la dynamique des écosystèmes naturels). Ensuite les déterminants socio-économiques ont été analysés sous les titres de déterminants socio-culturels et déterminants économiques après avoir présenté l'analyse de la dynamique des écosystèmes naturels à partir de l'étude diachronique de l'occupation du sol du bassin versant de la Pendjari.

4-1- Déterminants environnementaux de la dynamiques des écosystèmes naturels

4-1-1- Déterminants hydro-climatiques

Les hydro-écorégions de Gourma et de l'Atacora du bassin de la Pendjari au Bénin sont sous l'influence du climat soudanien à une saison pluvieuse de 5 à 6 mois (mai à octobre) et une saison sèche de 6 à 7 mois (octobre à avril). Selon Totin *et al*. (2010), ce climat sert de transition entre le climat béninien (humide) au sud et le climat sahélien (sec) au nord et donc partage partiellement leurs caractéristiques. Natta (1999) avait signalé que les précipitations liées à la fois à l'arrivée du front de mousson et aux influences orographiques, situent cette région parmi les plus arrosées du Bénin. La saison pluvieuse qui va de mai à octobre, est très fluctuante et se réduit de nos jours de juin voire juillet à octobre (Idiéti, 2004). L'écoulement annuel a considérablement varié de 71 à 40 m3/s dans le sous-bassin de la Pendjari à Porga et de 5 à 4 m3/s dans celui de Magou à Tiélé (Totin *et al*., 2010). Ces changements qui interviennent dans les processus climatiques et hydrologiques aux échelles journalières, mensuelles et annuelles, regroupés sous le vocable de variabilité hydro-climatique est l'un des facteurs déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-Ecorégions du bassin versant de la Pendjari, qu'il convient d'élucider.

Cette section a pour objectif d'analyser la variabilité des paramètres climatiques et hydrologiques ainsi que les bilans climatiques et hydrologiques dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.

4-1-1-1- Variabilité climatique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

📖 - Variabilité thermométrique

Il s'agit d'analyser les variations mensuelles et l'évolution interannuelle des températures dans le bassin versant de la Pendjari.

En effet, dans l'HER de Gourma comme dans celui de l'Atacora, la température moyenne mensuelle est de 27,2 °C (sur la période 1961-2006). Cette moyenne cache d'importantes disparités entre les températures extrêmes, disparités liées au gradient thermique altitudinal. La température moyenne maximale atteint 33°C et dépasse parfois 34°C en mars et la minimale est de 21°C et descend parfois en dessous de 17 °C en décembre.

Les températures les plus élevées s'observent en mars, avril et mai et les plus basses en décembre, janvier et février, période pendant laquelle souffle l'alizé du nord-est appelé harmattan. L'amplitude thermique moyenne mensuelle est de 3,1°C et celle annuelle est de 5,6°C (sur la période 1961-2006).

Quant à la variabilité inter annuelle, les tendances des températures moyennes ont été déterminées sur la période 1961 à 2006 comme le présente la figure 20.

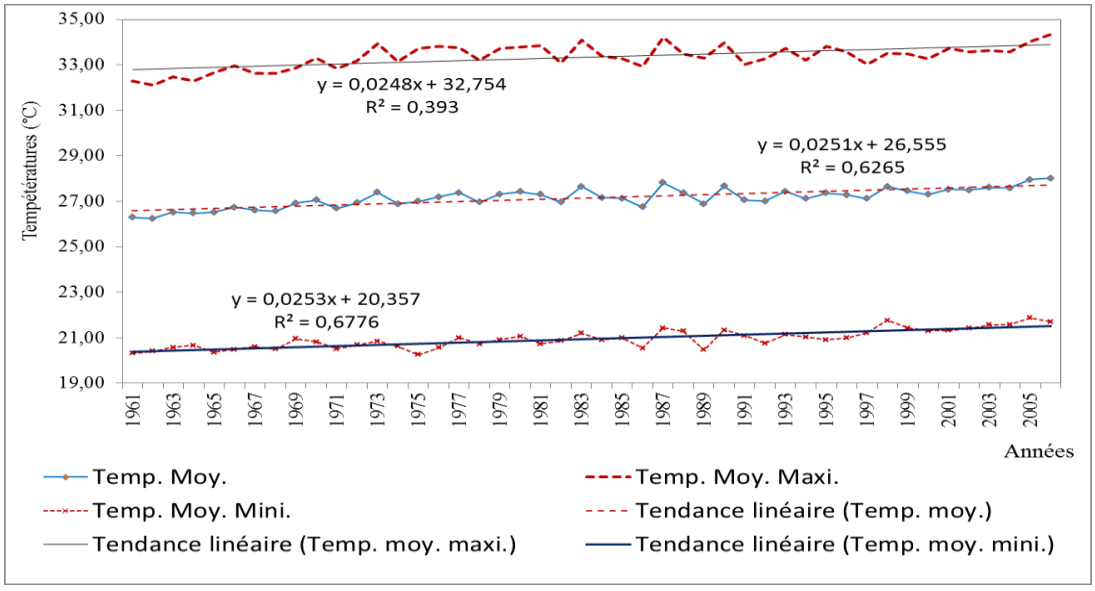


Figure 20 : *Variabilité interannuelle des températures moyennes dans le bassin versant de la Pendjari sur la période 1961-2006.*
Source de données : ASECNA, 2009

La figure 20 indique que les températures minimales, moyennes et maximales annuelles connaissent des tendances à la hausse de 1961 à 2006. La comparaison des données des périodes 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000 montre que les températures moyennes annuelles des décennies 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000 sont nettement supérieures à celles de la décennie 1961-1970 (figure 21).

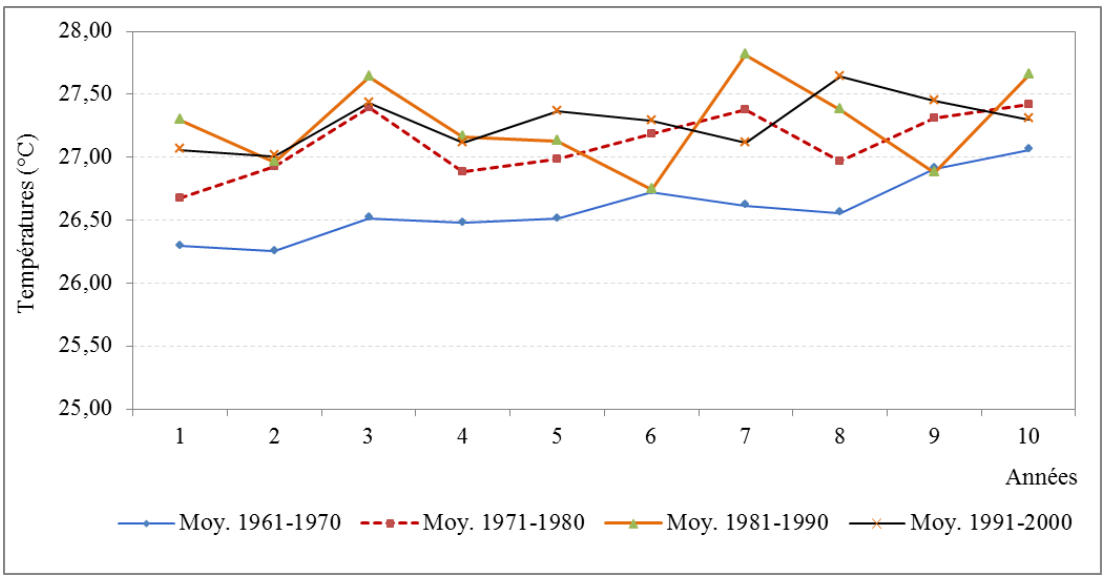


Figure 21 : *Variabilité de la température moyenne mensuelle sur les décennies 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000 dans le bassin versant de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

Les températures moyennes annuelles ont augmenté à partir des années 1970, ce qui confirme les tendances à la hausse que connaissent les températures minimales, moyennes et maximales annuelles de 1961 à 2006 montrées plus haut par la figure 21.

Eléments fondamentaux du climat, les températures minimales, moyennes et maximales sont des facteurs conditionnant la disponibilité de l'eau dans les HER du bassin versant de la Pendjari. Elles constituent l'un des facteurs de la variabilité pluviométrique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

🕮 - Variabilité pluviométrique dans le bassin versant de la Pendjari

Le rythme saisonnier et la variabilité interannuelle de la pluviométrie constituent les deux paramètres de la variabilité pluviométrique qu'il faut analyser dans le contexte actuel de de cette étude.

❖ Rythme saisonnier et régime pluviométrique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Le rythme saisonnier est la fréquence à laquelle les saisons s'alternent en une année dans un milieu. Il détermine le régime pluviométrique du milieu.

Boko (1988) a déjà démontré que selon les latitudes auxquelles on se situe, les périodes pluvieuses se combinent de différentes façons pour définir des régimes pluviométriques caractéristiques. Sur la base des moyennes mensuelles, on peut distinguer trois régimes pluviométriques :

- le régime bimodal pour toutes les stations situées au sud du parallèle 7°45 ;

- le régime unimodal au nord du parallèle 8°30 ;
- un régime de transition entre ces deux parallèles.

Le bassin versant de la Pendjari étant situé au nord du parallèle 8°30, le régime pluviométrique caractéristique est donc unimodal (figure 22).

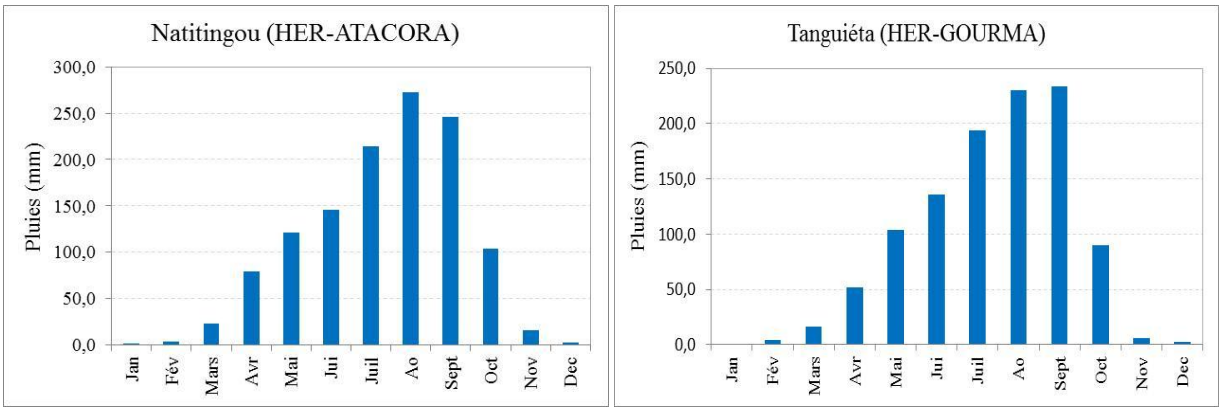


Figure 22 : *Régime pluviométrique dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari (Moyennes 1961-2006)*
Source de données : ASECNA, 2009

Les mois de juillet, août et septembre sont les plus pluvieux) avec une moyenne de 243,9 mm à Natitingou dans l'HER de l'Atacora et de 219,2 mm à Tanguiéta dans l'HER de Gourma. La moyenne mensuelle globale pour toute l'année est de 102,6 mm à Natitingou et 89,0 mm à Tanguiéta.

Les mois d'une année sont répartis entre les deux saisons de façon inégale dans les deux HER (figure 23).

Dans l'HER de l'Atacora, la saison sèche compte un (01) mois post-humide ou pré-sec (octobre) et cinq (05) mois secs (novembre, décembre, janvier, février et mars) ; et la saison pluvieuse compte deux (02) pré-humides (avril, mai) et quatre (04) mois humides (juin, juillet, août, septembre).

Quant à l'HER de Gourma, la saison sèche compte également un (01) mois post-humide ou pré-sec (octobre) et six (06) mois secs (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril) ; et la saison pluvieuse compte un (01) pré-humide (mai) et quatre (04) mois humides (juin, juillet, août, septembre).

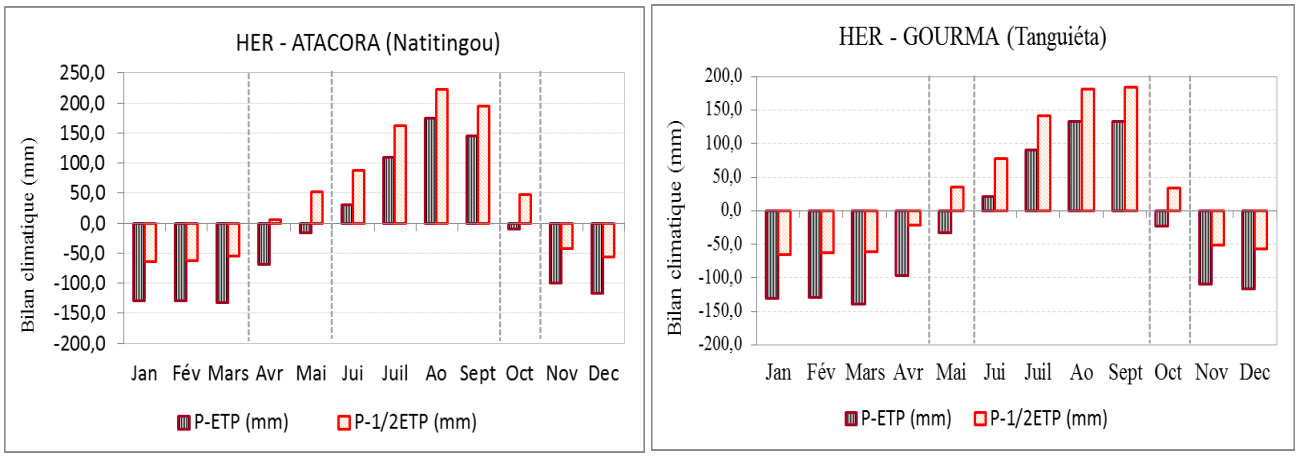


Figure 23 : *Répartition des mois d'une année entre les deux saisons dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

Ces rythmes saisonniers entrainent une certaine dynamique et impriment un cycle de vie aux écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. En effet, en saison sèche, la plupart des cours et plan d'eau s'assèchent et la végétation herbacée des forêts et savanes meurt. Ce qui entraine la migration ou la disparition de certaines espèces fauniques terrestres et aquatiques. En saison pluvieuse, les cours et plans d'eau reprennent les écoulements et les savanes et forêts deviennent verdoyantes. Cela favorise la vie des espèces fauniques selon leur milieu.

Ces phénomènes de rythme saisonnier sont connus et maîtrisés par les populations locales des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sur la base de leur vécu quotidien et qu'ils suivent et respectent pour leurs activités agricoles essentiellement calquées sur l'alternance des saisons.

Elles reconnaissent deux (02) variantes pour chaque saison. Pour elles, il existe des saisons intermédiaires qu'on peut nommer "intersaisons" : une intersaison pluvieuse appelée *Diyînkambonkidi* en ditammari, *Tilaɔ* en biali et une intersaison sèche appelée *Diténwaà* en ditammari, *Paworkɔ* en biali. Ces intersaisons s'identifient à travers les signes de démarrage ou de fin de saison. Le tableau X présente les intersaisons et leurs signes d'identification.

Tableau IX: **Les intersaisons et leurs signes d'identification dans les HER du bassin versant de la Pendjari**

En français	**En quelques principales langues locales**		**Signes d'identification** (perception rurale des populations locales)
	Ditammari	***Biali***	
Intersaison sèche	*Diténwaà*	*Paworkɔ*	- L'herbe et les cultures (mil [*Pennisetum americanum*] et sorgho [*Sorghum bicolor]*) fleurissent et portent les épis ; - La pluie diminue ; - Les orages isolés commencent ; - Le vent change de direction et vient du nord ; - Le brouillard d'harmattan apparaît ; - Les fruits de ficus commencent à mûrir ; - Les feuilles de *Acacia albida* bourgeonnent et apparaissent ; - Les feuilles de baobab (*Adansonia digitata)* et *Afzelia* jaunissent et tombent ; - Les hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) commencent par immigrer dans le milieu ; - Les tourterelles blanches à une tâche noire au cou (*Streptopelia semitorquata, Streptopelia decipiens, Streptopelia vinacea*) commencent à chanter.
Intersaison pluvieuse	*Diyînkambonkidi*	*Tilaɔ*	- L'harmattan cesse ; - La chaleur devient très forte et persistante ; - Le soleil devient brillant et très brulant ; - Les fruits de néré *(Parkia biglobosa*) et de karité (*Vitellaria paradoxa*), mûrissent ; - On trouve de l'humidité sous les pierres les matins et dans les rivières taries ; - Les feuilles *Acacia albida* jaunissent et tombent ; - Les mouvements des nuages sont orientés du sud vers le nord ; - La cigale crie intempestivement (stridule) dans la journée ; - Le chevalier guigette (*Actitis hypoleucos*), oiseau au chant composé de séries de trilles, chante les louanges de labours le matin et le soir.

Source : *Idiéti (2004) + Résultats d'enquêtes, 2009*

Il est à noter que ces perceptions populaires sont identiques dans les deux HER identifiées. Ce qui justifie la non distinction des perceptions des populations locales de chaque HER dans le tableau IX.

Bien que composé des saisons intermédiaires ou intersaisons selon les populations locales, le rythme pluviométrique saisonnier des HER du bassin versant béninois de la Pendjari connait parfois des perturbations liées aux aléas climatiques, en l'occurrence les retards de pluie, les sécheresses et les excès pluviométriques. Dans le cas des sécheresses, les premières pluies arrivent parfois abondamment puis régressent avant les mois les plus pluvieux ; dans les autres cas, on enregistre soit un manque de pluies, soit une abondance de pluies, pendant longtemps.

La succession de ce rythme pluviométrique sur une série d'années donnée est perçue par les scientifiques comme la variation ou variabilité interannuelle de la pluviométrie.

❖ **Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari**

Les hauteurs de pluies dans le bassin versant de la Pendjari sont comprises entre 691,0 mm et 1508,6 mm par an dans l'HER de Gourma et entre 866,7 mm et 1768,2 mm par an dans l'HER de l'Atacora (sur la période 1961 – 2006).

Totin *et al*. (2010) avaient déjà démontré que l'évolution des hauteurs de pluie montre que le bassin béninois de la Volta (auquel appartient le bassin versant de la Pendjari) connaît une forte variabilité pluviométrique et une rupture de stationnarité du champ de pluie annuel entraîne une variation à la baisse des pluies mensuelles.

Dans les HER de Gourma et de l'Atacora, l'évolution interannuelle des pluviométries ont connu des ruptures intervenues en 1975 et en 1993. Des marques de changement ont été exprimées par le mode de la fonction densité de probabilité "a posteriori" de la position du point de rupture : 0,39 en 1969 à Natitingou et 0,07 en 1993 à Tanguiéta ; mode mis en évidence par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian. La figure 24 présente les ruptures de stationnarité des pluviométries annuelles détectées dans les Hydro-écorégions du bassin de la Pendjari sur la période 1961-2006.

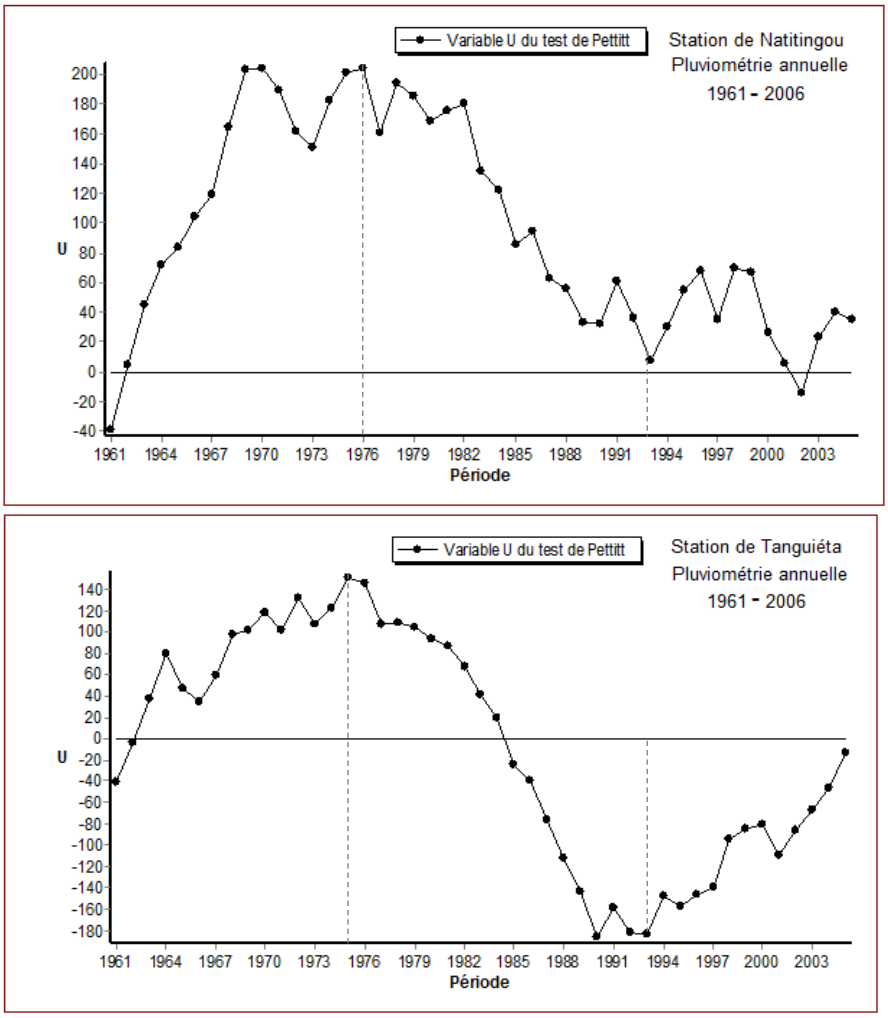


Figure 24 : *Ruptures de stationnarité des pluviométries annuelles dans les Hydro-Ecorégions du bassin de la Pendjari au Bénin sur la période 1961-2006*

Source : Résultats de traitement des données avec KHRONOSTAT 1.01

L'étude de la variabilité interannuelle des indices pluviométriques montre aussi une baisse sensible dans les années 1970 et une remontée dans les années 1990 dans les deux hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. Mais de façon générale, on observe une tendance à la baisse progressive des pluies de 1961 à 2006. La comparaison des tendances en pourcentage montre que la tendance à la baisse des pluies est plus élevée dans l'HER de l'Atacora (0,08% à Natitingou) que dans l'HER de Gourma (0,01% à Tanguiéta). Les résultats du test de significativité des tendances observées ont montré que la tendance à la baisse des pluviosités observée dans l'HER de l'Atacora est significative : la statistique de Student U = 2,58 (pour la station de Natitingou) est supérieur à 1,96 au risque de 5% suivant la loi normale ; d'où l'hypothèse H0 (la tendance dans la série n'est pas significative) est rejetée.

Quant à la tendance à la baisse des pluviosités observée dans l'HER de Gourma, elle n'est significative : la statistique de Student U = 1,73 (pour la station de Tanguieta) est inférieur à 1,96 au seuil de 5% suivant la loi normale ; d'où l'hypothèse H0 (la tendance dans la série n'est pas

significative) n'est pas rejetée.

L'explication à donner à cette situation n'est pas aisée par les mécanismes atmosphériques. On est tenté de la lier aux effets de versant au vent et versant sous le vent expliqués plus haut, mais lesdits effets expliquent plutôt la différence de pluviosité entre l'HER de l'Atacora et l'HER de Gourma, et non la différence ou la significativité de tendance. La seule raison probable à cette situation est que l'HER de Gourma étant en grande partie occupée par l'aire protégée (la RBP), a une couverture végétale moins dégradée que l'HER de l'Atacora. Cette couverture végétale aurait un effet atténuant les sécheresses dans le milieu et en l'occurrence sur la tendance à la baisse de la pluviosité.

La figure 25 souligne trois (03) séquences de variabilité dans chaque HER : une première séquence (S1) de 1961-1975 marquée par de pluviométries plus ou moins abondantes avec une tendance à la baisse plus ou moins faible ; une seconde séquence (S2) marquée par une baisse drastique des pluviométries de 1976-1993, avec une tendance à la bisse très prononcée ; et enfin une troisième séquence de 1993-2006 marquée par une remontée relative des pluviométries avec une tendance à la hausse plus ou moins faible.

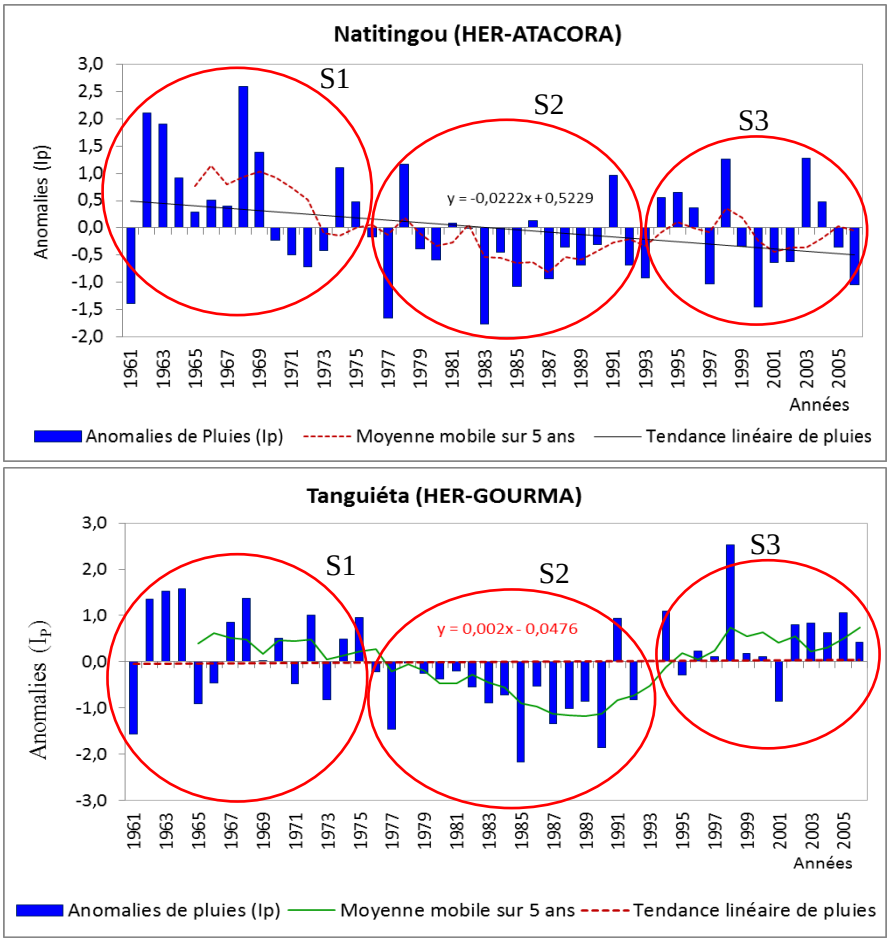


Figure 25: *Variabilité interannuelle et tendance pluviométrique dans les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

De façon générale, on note une diminution progressive des quantités de pluies de 1961 à 2006. La sous-période 1961-1975 est marquée par les pluviométries excédentaires suivie d'une sous-période (1976-1993) à pluviométries déficitaires et une reprise de pluviométries excédentaires autant que déficitaires de 1994 à 2006. Ce qui confirme la récession pluviométrique à partir des années 1970, démontré par les études antérieures de Boko (1988), Afouda (1990) et Houndénou (1999). Ces périodes excédentaires et déficitaires sont du fait des manifestations des phénomènes exceptionnels notamment les sécheresses et les excédents de pluies.

La répartition des années déficitaires ou de sécheresse et à pluviométries excédentaires enregistrées dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari, pendant la période 1961-2006, a été déterminée par la méthode de classement des indices pluviométriques (Figure 26 et Annexe 1b).

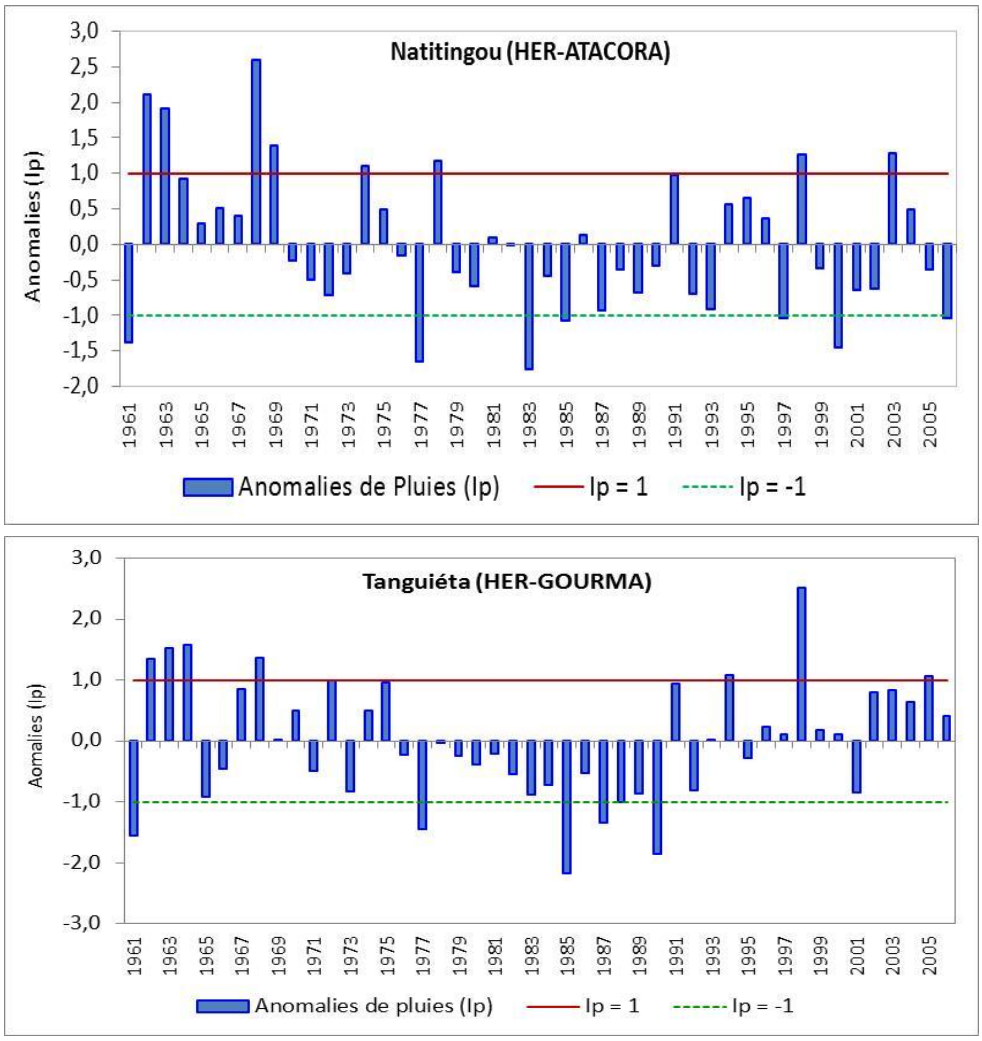


Figure 26 : *Répartition temporelle des années exceptionnelles enregistrées dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari de 1961 à 2006*

Source de données : ASECNA, 2009

Il ressort de l'analyse de la figure 25 que les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari ont connu des proportions différentes d'années de sécheresse (13% pour l'HER de Gourma et 15% pour l'HER de l'Atacora) mais les mêmes proportions d'années à pluviométrie excédentaire (17%) sur la période 1961-2006.
Il faut remarquer à partir de la figure 25 que presque toutes les années de sécheresse sont dans la période de 1975-1993 aussi bien dans l'HER de Gourma que dans l'HER de l'Atacora.

Les sécheresses et les excédents de pluies sont des phénomènes qui impactent considérablement les écosystèmes naturels. En effet, les excédents pluviométriques génèrent des inondations mais favorisent le développement des écosystèmes aquatiques et forestiers. Quant aux sécheresses, elles entrainent le manque d'eau et la destruction des écosystèmes (tarissement des cours et plans d'eau, assèchement des forêts et savanes, prédation, migration ou disparition de la faune aquatique et terrestre, etc.)

Brou (2005), recherchant la relation entre climat et dynamique des écosystèmes dans le **V-**Baoulé (Côte d'Ivoire), conclut que l'importance des déficits pluviométriques est susceptible de fragiliser les écosystèmes de forêt et de savane, surtout à l'occasion des années «anormalement sèches». Ce serait le cas dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari, surtout dans la période 1975-1993. Quels en sont les déficits pluviométriques au niveau de chaque hydro-écorégion ?

❖ Déficits pluviométriques dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Ils résultent de la répartition comparée des pluviométries des sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006. En effet, les mois de la saison pluvieuse y compris le mois post-humide (avril/mai, juin, juillet, août, septembre et octobre) fournissement en moyenne 96% et 92% de la pluviométrie moyenne annuelle de la période 1961-2006, respectivement dans les hydro-écorégions de l'Atacora et de Gourma. L'étude comparée des deux sous-périodes permet de mettre en évidence la baisse marquée des hauteurs de pluies saisonnières sur la sous-période 1976-2006. La figure 27 présente les pluviométries saisonnières des sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006.

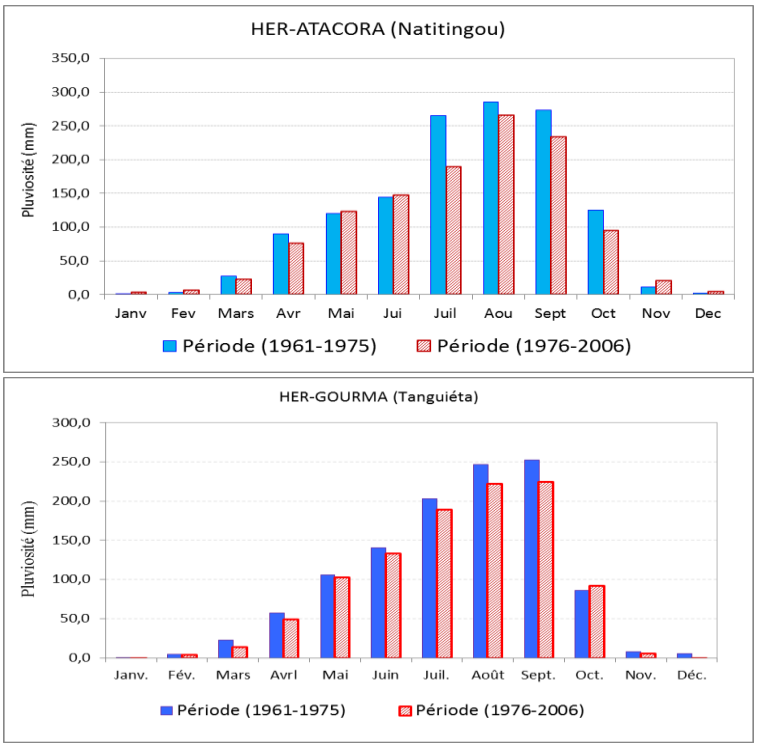


Figure 27 : *Pluviométries saisonnières des sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 dans les Hydro-Ecorégions du bassin de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

La figure 26 montre que les pluviométries saisonnières de la sous-période 1976-2006 est nettement déficitaire par rapport à celle de 1961-1975 dans les deux hydro-écorégions. Le mois d'avril parait plus pluvieux dans l'HER de l'Atacora que dans celle de Gourma. La prise en compte de l'ETP (Figure 27 et 28) permet de savoir que le mois d'avril est pourtant un mois sec dans les deux HER. Il s'observe que les pluviométries mensuelles de l'HER de l'Atacora sont nettement supérieures à celles de l'HER de Gourma. Les déficits pluviométriques des mois pluvieux (mai, juin, juillet, août, septembre, octobre) ont été déterminés (Tableau X et XI).

Tableau X : **Déficit de la pluviosité mensuelle dans l'HER de l'Atacora (Natitingou)**

Mois	pluviosité moyenne (mm)			Ecart	Déficit
	1961-2006	1961-1975	1976-2006		
avril	**79,4**	89,6	74,4	-15,1	-16,9%
mai	121,2	119,7	122	2,2	1,8%
juin	145,4	143,8	146,1	2,3	1,6%
juil.	213,8	265	189	-76	-28,7%
aout	272	286	265,3	-20,7	-7,2%
sept.	246	273,3	232,8	-40,5	-14,8%
oct.	104,2	125,7	93,8	-31,8	-25,3%
Totaux	**1102,6**	**1213,5**	**1049**	**-164,5**	**-13,8%**

Source : *Résultats e traitement des données*

Tableau XI : **Déficit de la pluviosité mensuelle dans l'HER de Gourma (Tanguiéta)**

Mois	pluviosité moyenne (mm)			Ecart	Déficit
	1961-2006	1961-1975	1976-2006		
mai	103,6	106,2	102,4	-3,8	-3,7%
juin	135,6	140,3	133,3	-7,0	-5,2%
juil.	193,7	202,9	189,3	-13,6	-7,2%
août	230,2	247,2	222,0	-25,2	-11,3%
sept.	233,7	252,1	224,8	-27,4	-12,2%
oct.	90,2	85,9	92,2	6,4	6,9%
Totaux	**987,0**	**1034,5**	**964,0**	**-70,6**	**-7,3%**

Source : *Résultats e traitement des données*

Les tableaux X et XI montrent que le déficit des mois pluvieux de la sous-période 1976-2006 par rapport à la sous-période 1961-1975 est de 13,8 % dans l'hydro-écorégion de l'Atacora et 7,3% dans l'hydro-écorégion de Gourma. Tous les mois pluvieux ont connu de déficit à l'exception des mois de mai et juin dans l'HER de l'Atacora et du mois d'octobre dans l'HER de Gourma. Malgré que deux mois sur sept n'aient pas été déficitaires, l'HER de l'Atacora a connu le plus fort déficit par rapport à l'HER de Gourma. Le mois de juillet est marqué par la plus forte péjoration pluviométrique observée dans l'hydro-écorégion de l'Atacora avec un déficit de 28,7 % ; tandis que dans l'hydro-écorégion de Gourma, c'est le mois de septembre qui est marqué par la plus forte péjoration pluviométrique avec un déficit pluviométrique de 12,2 %.

Ce sont ces déficits qui expliquent les tendances à la baisse de la pluviométrie observée sur la période de 1961 à 2006 dans chacun des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. L'analyse de la variabilité du bilan climatique a permis de mettre en évidence les périodes saisonnières sèches ou humides et les années sèches ou humides ; et de comprendre le mécanisme et l'ampleur des déficits pluviométriques observés dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.

🕮 Bilans climatiques dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Les déficits pluviométriques analysés plus haut indiquent que les quantités d'eau tombée par an subissent des régressions. De ce fait, on peut estimer les pertes d'eau pluviale dans chaque hydro-écorégion suivant la méthode des bilans climatiques (interannuel et mensuel) indiquée pus haut.

❖ **Bilan climatique mensuel**

Le bilan climatique a été réalisé au pas de temps mensuel dans chaque hydro-écorégion du bassin versant béninois de la Pendjari à partir de la pluviosité et l'ETP mensuelles.

La figure 28 permet d'abord de constater que le bilan climatique est identique dans les deux hydro-écorégions et ensuite d'identifier deux périodes opposées dans une même année :

- une période de huit mois (octobre à mai) où le bilan climatique est négatif. Ce sont les mois secs où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement et même l'assèchement des réserves d'eau du sol et l'assèchement précoce des cours d'eau comme l'avait aussi signalé Vissin (2007) dans le bassin du fleuve Niger au Bénin.
- et une période de quatre mois (juin à septembre) où le bilan climatique est positif. Ce sont les mois humides qui fournissent de surplus d'eau aux rivières et favorisent l'alimentation des réservoirs souterrains des hydro-écorégions

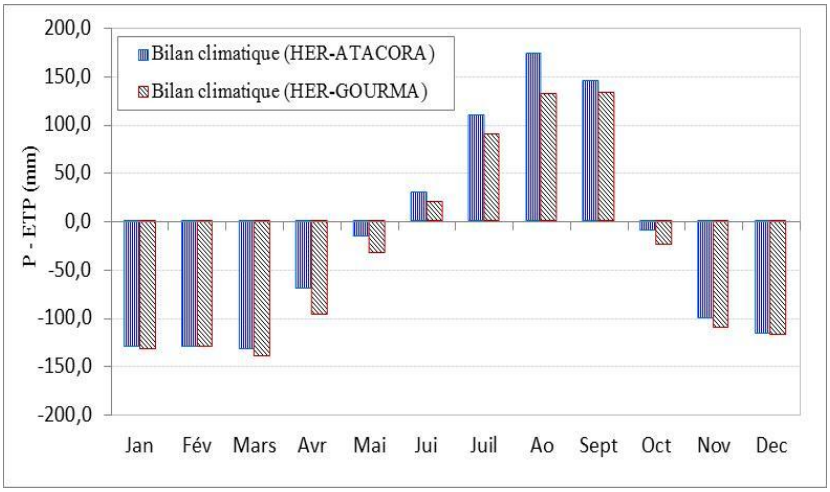


Figure 28 : *Bilan climatique mensuel dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

Le bilan climatique mensuel comparé entre les sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 permet d'évaluer les déficits observés plus haut. La figure 29 montre une baisse marquée du bilan climatique de la sous-période 1976-2006 par rapport à la sous-période 1961-1975 dans les deux Hydro-Ecorégions. Les mois humides (juin, juillet, août et septembre) connaissent des déficits climatiques sensibles dans la sous-période 1976-2006 et les mois secs sont devenus davantage secs. Dans l'hydro-écorégion de l'Atacora, le mois d'octobre est passé d'humide dans la sous-période 1961-1975 à sec dans la sous-période 1976-2006 ; parce que ayant subi 'important déficit (25,3%).

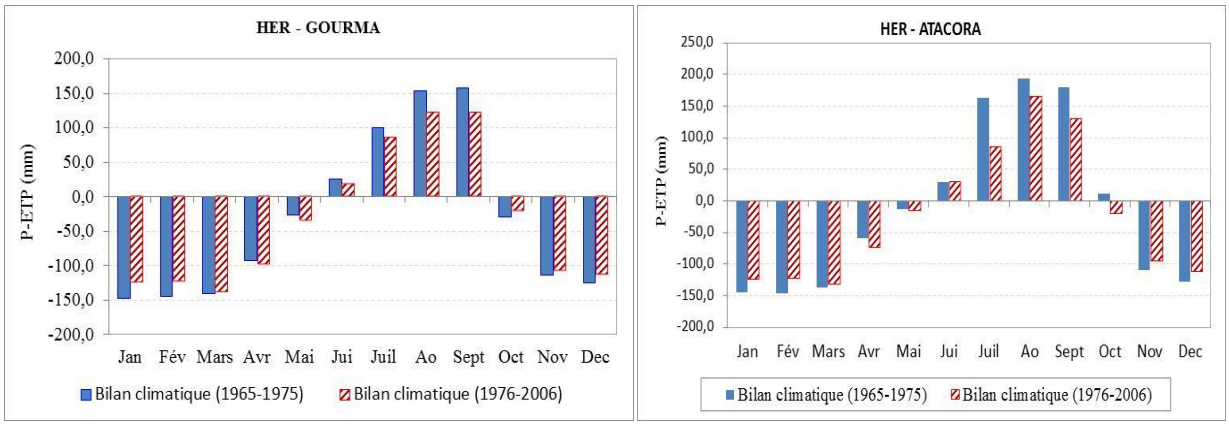


Figure 29 : *Variation du bilan climatique sur les sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 dans les Hydro-Ecorégions du bassin versant de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

Dans ce contexte, il convient de suivre l'évolution du bilan climatique interannuel pour pouvoir apprécier les déficits hydrique annuels.

❖ Bilan climatique interannuel

A l'échelle de temps annuelle, le bilan climatique est déficitaire pour toute la période 1961-2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari (figure 30).

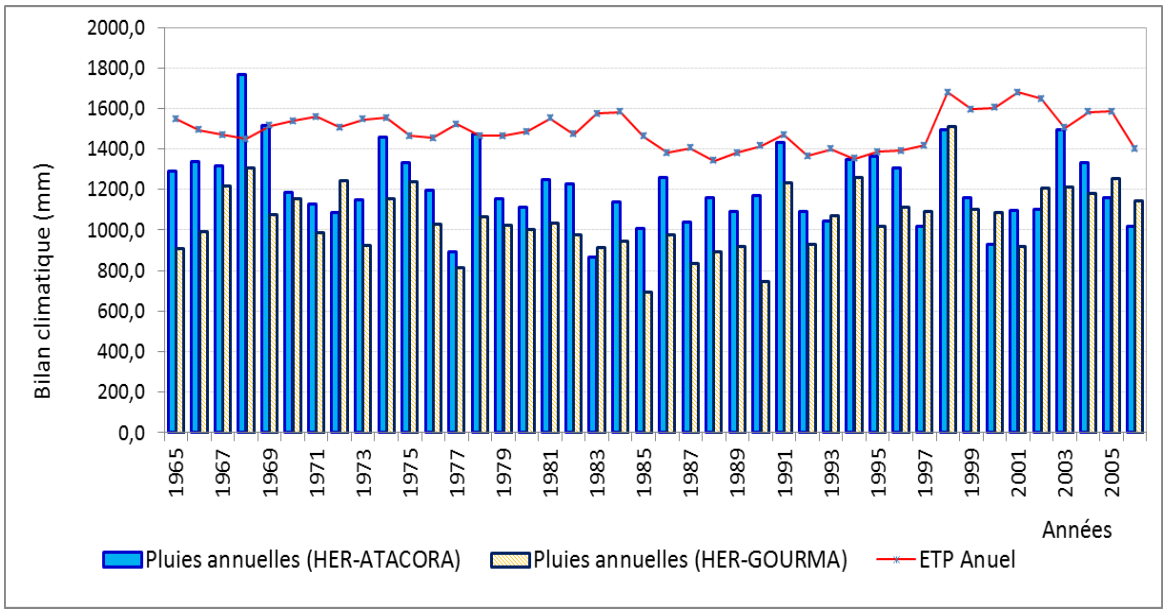


Figure 30 : *Bilan climatique interannuel (1961-2006) dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari*

Source de données : ASECNA, 2009

La figure 30 montre que l'évapotranspiration potentielle annuelle est supérieure à la pluie totale annuelle quelle que soit l'année considérée dans l'hydro-écorégion de Gourma. Dans l'hydro-

écorégion de l'Atacora, seules deux années (1968 et 1978) sur toute la période, ont connu un bilan climatique annuel positif (P > ETP).

Cela peut s'expliquer par deux raisons fondammentales :

- l'ETP est permanente toute l'année alors que la pluie est saisonnière ;
- l'ETP a plusieurs sources telles que l'eau du sol, la végétion et les masses d'eau, etc. alors que la pluie n'a qu'une seule source (les nuages pluvieux).

Il y a donc plus de perte d'eau dans l'atmosphère par évapotranspiration que de disponibilité d'eau au sol par la pluie dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. Cela explique les contraintes climatiques majeures que subissent les écosystèmes (Amoussou, 2010) des hydro-écorégions du bassin. Les conséquences immédiates de ces contraintes sont observées sur l'écoulement après l'étude sur la variabilité hydrologique.

4-1-1-2- Variabilité hydrologique dans les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari

L'étude de la variabilité hydrologique consiste à analyser la variabilité mensuelle et interannuelle de l'écoulement, les déficits d'écoulement et les liens entre les variations de l'écoulement et celles pluviométriques. Ces analyses permettent de caractériser le bilan hydrologique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. Il faut signaler que chacun des hydro-écorégions ne dispose pas d'une station hydrométrique ; les stations hydrométriques disponibles (Porga et Tiélé) dans le bassin sont tous deux géographiquement situées dans l'hydro-écorégion de Gourma. Les eaux de l'hydro-écorégion de l'Atacora rejoignent la station de Porga. C'est pourquoi les données de la seule station de Porga ont été utilisées pour analyser la variabilité hydrologique des deux hydro-écorégions du bassin.

🕮 Variation mensuelle de l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Le rythme mensuel de l'écoulement est exprimé par l'évolution saisonnière des débits. L'analyse de la répartition mensuelle des débits enregistrés à la station hydrométrique de Porga a permis de caractériser la variabilité hydrologique mensuelle dans les hydro-écorégion du bassin versant de la Pendjari.

La figure 31 présente la variation mensuelle des débits dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sur la période de 1961 à 2006.

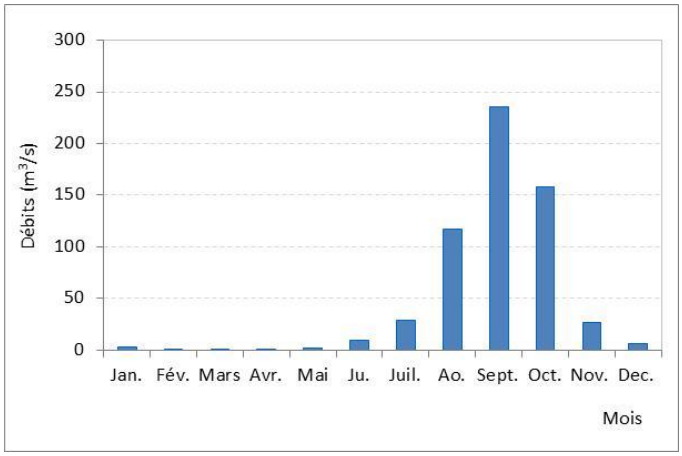


Figure 31 : *Variation mensuelle des débits dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.*

Source de données : Service d'hydrologie, DG-Eau, 2010

La figure 31 indique que les mois de janvier, février, mars, avril, mai et décembre sont caractérisés par des débits presque nuls : c'est la période d'étiage. L'écoulement intervient à partir du mois de juin jusqu'en novembre : c'est la période des hautes eaux. Elle commence en juin, atteint son maximum en septembre et baisse à partir du mois d'octobre. Le mois de septembre est ainsi le mois de crue où les eaux débordent le lit de la rivière Pendjari (Photo 6). De décembre à mai, les cours d'eau s'assèchent, même la rivière Pendjari laissent des marigots par endroits et se présente sous forme de chapelet (Photo 7).



Photo 6 : *Rivière Pendjari en crue à Porga pendant la saison pluvieuse*

Observez de l'eau ayant atteint les feuillages des arbres de la galerie forestière.

Source : Cliché IDIETI M. E., Octobre 2010



Photo 7 : *Rivière Pendjari en étiage à Porga pendant la saison sèche*

Observez au premier plan une partie du lit de la rivière Pendjari asséchée et en arrière-plan, un marigot.

Source : Cliché IDIETI M. E., Janvier 2009

🕮 Variabilité interannuelle de l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

L'étude de l'évolution interannuelle des débits moyens annuels (figure 32) a permis d'analyser la variabilité interannuelle de l'écoulement des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari sur la période de 1961 à 2006.

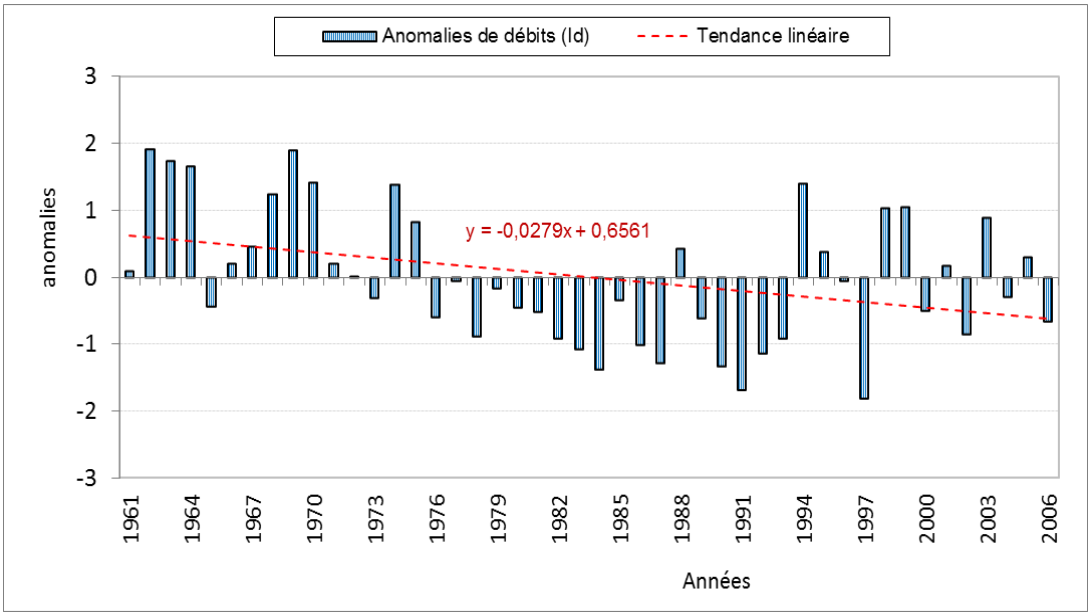


Figure 32 : *Variabilité interannuelle de l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari*

Source de données : Service d'hydrologie, DG-Eau, 2010

La figure 32 permet d'observer une démarcation de trois sous-périodes d'évolution de l'écoulement qui correspondent à celles obtenues avec les hauteurs de pluies :

- une sous-période de 1961 à 1975 marquée les plus forts débits avec des crues pendant les années 1962, 1963, 1964, 1968, 1969,1970 et 1974 ;
- une sous-période de 1976-1993 marquée par de faibles débits d'écoulement avec les années de sécheresse pendant les années 1983, 1984, 1987, 1990, 1991 et 1992 et ;
- une sous-période marquée par autant de débits forts que de débits faibles de 1994 à 2006. Cette sous-période a connu trois années de crue (1994, 1998, 1999) et une année de sécheresse (1997).

De façon générale, à l'instar de la pluviométrie, l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari connait une baisse de 1961 à 2006. Cette baisse s'explique par les déficits connus depuis les années 1970 malgré la reprise relative observée vers les années 1990.

Le tableau XII présente les déficits hydriques de l'écoulement enregistrés dans le bassin de la Pendjari.

Tableau XII : **Déficit de l'écoulement dans le bassin de la Pendjari**

Mois de crue	**Débits moyens**			**Ecart**	**Déficit**
	1961-2006	***1961-1975***	***1976-2006***		
Juin	9,0	9,3	8,9	-0,5	-5%
Juillet	28,9	38,7	24,2	-14,5	-37%
Août	117,3	165,6	93,9	-71,7	-43%
Septembre	235,5	329,7	189,9	-139,8	-42%
Octobre	158,4	247,9	115,1	-132,8	-54%
Novembre	26,7	39,1	20,7	-18,4	-47%
Moy.	**96,0**	**138,4**	**75,4**	**-62,9**	**-45%**

Source : *Résultats de traitement des données*

Le tableau XII montre que les mois de hautes eaux ont connu de grands déficits d'écoulement pendant la sous-période 1976-2006 par rapport à la sous-période 1961-1975. La moyenne générale des déficits est de 45 %.

Ce sont ces déficits qui expliquent la tendance à la baisse de l'écoulement observée sur la période d'étude (1961 à 2006) dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

L'analyse du bilan hydrologique a permis de comprendre l'influence de la variabilité pluviométrique sur l'écoulement observé dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.

🕮 Bilans hydrologiques dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari

Il s'agit de l'évaluation de la quantité d'eau disponible dans les hydro-écorégion du bassin versant béninois de la Pendjari à travers l'analyse comparée entre les hauteurs de pluie, l'écoulement (débit), l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'infiltration. Les déficits enregistrés au niveau de ces différents paramètres entre les sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 sont également évalués et comparés. Le tableau XIII présente l'évolution comparée des fluctuations des termes du bilan hydrologique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sur la période 1961-2006.

Tableau XIII : **Bilan hydrologique dans les Hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sur la période 1961-2006**

Termes du bilan hydrologique		HER DE l'ATACORA	HER DE GOURMA
Pluies	1961-2006 (mm)	1231,2	1068,5
	1961-1975 (mm)	1348,1	1131,8
	1976 – 2006 (mm)	1174,7	1037,9
	Ecart	- 173,5	- 93,9
	Déficit	***- 12,9%***	***- 8,3%***
Evapotranspiration réelle (ETR)	1961-2006 (mm)	1074,4	971,4
	1961-1975 (mm)	1131,0	1006,4
	1976 - 2006(mm)	1047,1	954,4
	Ecart	- 83,9	- 51,9
	Déficit	***- 7,4%***	***- 5,2%***
Ecoulement	1961-2006 (mm)	66,0	66,0
	1961-1975 (mm)	97,4	97,4
	1976 – 2006 (mm)	50,9	50,9
	Ecart	- 46,6	- 46,6
	Déficit	***- 47,8%***	***- 47,8%***
Infiltration	1961-2006 (mm)	90,8	31,1
	1961-1975 (mm)	119,7	28,0
	1976 - 2006(mm)	76,8	32,6
	Ecart	- 43,0	+ 4,6
	Déficit	***- 35,9%***	***+ 16,6%***

Source : *Résultats de traitement des données*

L'analyse du tableau XIII permet de dire que le déficit pluviométrique observé dans les hydro-écorégions entre les sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 est de 12,9 % dans l'hydro-écorégion de l'Atacora et de 8,3 % dans l'hydro-écorégion de Gourma.

Le déficit d'écoulement dans les deux hydro-écorégions entre les deux sous-périodes 47,8%, soit plus de trois fois dans l'hydro-écorégion de l'Atacora et plus de cinq fois dans l'hydro-écorégion de Gourma.

La baisse de la pluviométrie entre les deux sous-périodes a également des répercussions sur l'infiltration (ou recharge) dans les deux hydro-écorégions. Le déficit de l'infiltration est de 35,9% dans l'hydro-écorégion de l'Atacora alors la valeur obtenue dans l'hydro-écorégion de Gourma (+16,6%) indique qu'il n'y a pas de déficit d'infiltration. Cela peut s'expliquer d'une part par le fait que l'infiltration a été plus élevée dans la sous-période 1976-2006 que pendant celle 1961-1975 ; et d'autre part par la nature du substratum géologique qui a un effet considérable sur l'écoulement.

Ce qui nous amène à analyser les déterminants géophysiques de la dynamique des écosystèmes naturels pour mieux élucider la variation du coefficient d'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

🕮 Coefficients d'écoulement

Les moyennes annuelles calculées des coefficients d'écoulement sont de 5,4% l'hydro-écorégion de l'Atacora et 6,2% dans l'hydro-écorégion de Gourma sur toute la période d'étude (1961-2006). Ces coefficients sont apparemment faibles par rapport aux quantités moyennes de pluies tombées par an (1068,5 mm et 1231,2 mm).

La figure 32 présente la variation des coefficients annuels d'écoulement de 1961 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. Le coefficient d'écoulement varie entre 0,3% et 10,0% dans l'hydro-écorégion de l'Atacora tandis que dans celle de Gourma, il varie entre 0,3% et 12,6%.

On observe sur la figure 33 une diminution des valeurs du coefficient d'écoulement annuel de 1961 à 2006, dans les deux hydro-écorégions, mais la diminution est plus marquée dans l'hydro-écorégion de Gourma que dans celle de l'Atacora.

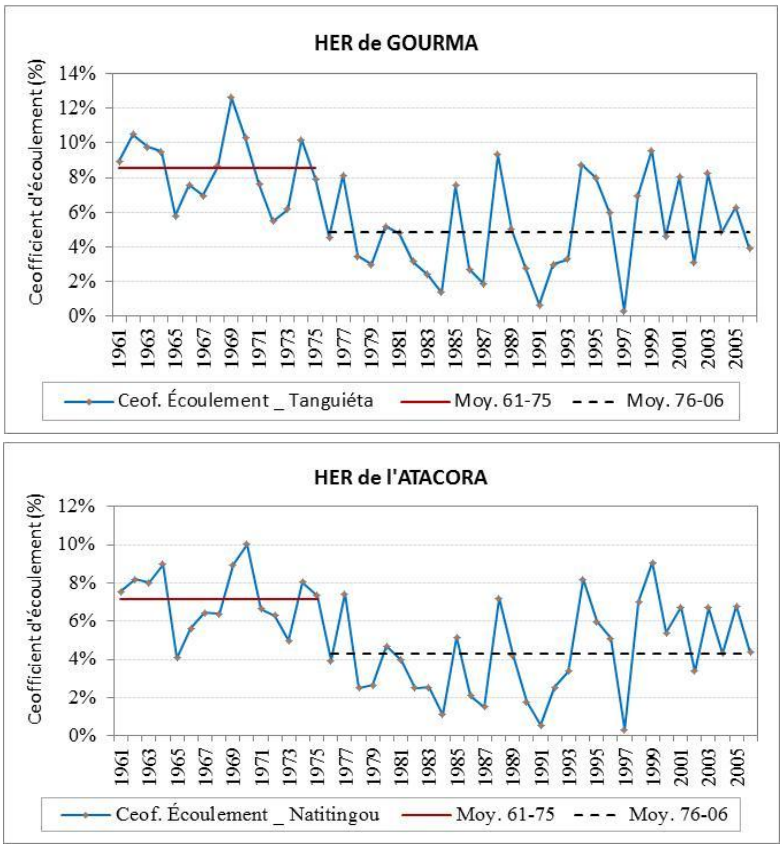


Figure 33 : *Variation des coefficients d'écoulement annuels de 1961 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

Source : Résultats de traitement des données

Sur la base des valeurs de ces coefficients d'écoulement et de leur évolution temporelle, on peut dire que les déterminants géophysiques, notamment le substratum géologique et la couverture agro-pédologique ont une influence sur l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari et par ricochet sur la dynamique des écosystèmes naturels.

4-1-2- Déterminants géophysiques de la dynamique des écosystèmes naturels

4-1-2-1- Substratum géologique et écoulement des eaux

Il s'agit de l'influence du substratum géologique sur l'écoulement des eaux dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

En effet, la géologie de l'hydro-écorégion de l'Atacora est caractérisée par des roches métamorphiques composées de *grès, de quartzites, de schistes, de micaschistes, de g*neiss, *etc*. et une structure tectonique faite de chevauchements et de charriage (Conf. Pages 20-21). Les failles et les contacts tectoniques constituent le réseau de fracturation. On y trouve plusieurs types d'aquifères de fissures à des profondeurs variables entre moins de 40 mètres et moins de 80 mètres (DH, 2000 ; Idiéti, 2004). Ce qui démontre le caractère perméable du substratum géologique de l'hydro-écorégion de l'Atacora et confirme la faible valeur du coefficient d'écoulement (5,4%) par rapport à celui de l'hydro-écorégion de Gourma (6,2%).

Ces caractéristiques géologiques (la lithologie et la structure tectonique) sont les principaux facteurs du substratum qui influence l'écoulement. Cette influence se manifeste à travers la perméabilité du substratum, perméabilité qui intervient sur les débits de crue et d'étiage.

Un bassin à substratum perméable retient de l'eau plus aisément et assure plus longtemps un débit de base en période sèche (Musy et Higy, 2003). Ce qui n'est pas le cas dans l'hydro-écorégion de l'Atacora ; on assiste plutôt à un assèchement rapide des cours d'eau après les pluies. Cela s'explique par le fait que l'infiltration qui se produit contribue à alimenter les nappes aquifères souterraines qui alimentent les sources d'eau (nombreuses dans le secteur) et qui sont souvent captées lors des forages pour l'eau potable. Aussi les pentes du relief qui sont fortes dans cette hydro-écorégion constituent un facteur considérable dans l'appréciation de l'écoulement et de l'infiltration autant que de la dynamique des écosystèmes naturels.

Quant à la géologie de l'hydro-écorégion de Gourma, elle est caractérisée par les alluvions récentes argilo-sableuses, des alluvions anciennes faites d'*Argilites,* de *silts et grès fins*, et des *dépôts sédimentaires argilo-sableux* faiblement fissurés avec des plaquages et des blocs latéritiques. Elle a une structure tectonique fait de chevauchements (Conf. Pages 20-21). Ce qui démontre le caractère peu perméable du substratum géologique de l'hydro-écorégion de Gourma et confirme la forte valeur du coefficient d'écoulement (6,2%) par rapport à celui de l'hydro-écorégion de l'Atacora (5,4%). Un bassin à substratum imperméable présente une crue plus rapide et plus violente qu'un bassin à substratum perméable (Musy et Higy, 2003). En effet les argilites et dépôts argilo-sableux sont des roches à caractères argileux qui après absorption de l'eau, deviennent imperméables à l'infiltration de l'eau. Ce qui explique les faibles valeurs d'infiltration (31,1mm contre 90,8mm) obtenues dans le bilan hydrologique (Tableau XIII) par rapport l'hydro-écorégion de l'Atacora.

Par contre, cette capacité d'absorption et de rétention de l'eau est un facteur favorisant l'écoulement souterrain contribuant aussi faiblement soit-il à l'apport de l'écoulement souterrain dans l'écoulement général de l'hydro-écorégion.

4-1-2-2- Influence du relief sur l'écoulement et dynamique des écosystèmes naturels

Le relief et les pentes sont des facteurs déterminants qui, à l'instar du substratum géologique, influencent considérablement l'écoulement dans les bassins versants.

En effet, le relief de l'hydro-écorégion de l'Atacora est la chaîne de l'Atacora qui culmine à plus de 600 m. A la hauteur de Toukountona, la chaîne donne deux chaînons qui encadrent la haute plaine. Celle-ci (la haute plaine) s'élargit du sud-ouest au nord-est et atteint 6 km de large à Toukountouna, et s'incline de 400 m à moins de 200 m au nord-ouest du village de Séri. Les

marigots, très encaissés, possèdent parfois un lit majeur étroit, quelques mètres au-dessus du niveau d'étiage. Les pentes sont très fortes (de 4,3% à 77% dont la moyenne générale est de 14,5%) et sont à la base des torrents.

Quant au relief de l'hydro-écorégion de Gourma, il s'agit d'une vaste pénéplaine où l'on observe des glacis (vastes étendues planes légèrement inclinées). Elle s'incline doucement vers l'ouest de 400 mètres à moins de 160 mètres d'altitude au-delà des collines du Buem qui rompent sa continuité. Ces collines à fortes pentes provenant des grès quartzites et jaspes du Buem s'abaissent progressivement du sud-ouest au nord-est et disparaissent au-delà de Dassari, mais sur le terrain, les grès quartzites continuent d'affleurer ; elles réapparaissent dans le Parc-Pendjari avant de disparaître complètement à l'ouest de Konkombri. Les rivières ont un lit mineur large, très plat et un lit majeur à peine marqué entaillant les schistes altérés. Les berges de ces rivières sont abruptes et constituées de blocs et gravillons rocheux pauvres en argile et donc perméables ; d'où la faible rétention en eaux de surface et la non pérennité des écoulements (Agbossou et Akoundé, 2001). Les affluents des rivières ne possèdent pas en général de lit mineur. A proximité de la rivière Pendjari et au nord-est de la route Porga-Tanguiéta, le paysage est extrêmement déprimé, à peine dominé par quelques cuirasses qui, à une cote de 180 m, marquent les restes du bas glacis aujourd'hui démantelé (INRAB, 1997). Les pentes varient entre 0,2% et 4,3% et l'inclinaison générale est de 4,1% de l'est vers l'ouest. Ces pentes sont relativement faibles et susceptibles de favoriser l'infiltration et la stagnation des eaux pluviales ; ce qui contribuerait à l'écoulement hypodermique. Cela fait partie aussi des raisons de la valeur du coefficient d'écoulement (6,2%) plus élevée que celle de l'hydro-écorégion de l'Atacora (5,4%).

Facteurs de ruissellement de l'eau, les pentes constituent la cause de l'érosion du sol par les eaux pluviales. L'érosion est la principale cause de la dégradation des écosystèmes naturels (comblement ou envasement des cours d'eau, appauvrissement des sols, dégradation de la végétation, etc.). Elle se manifeste soit par dissolution et lessivage par l'eau stagnée ou infiltrée des composantes minérales du sol ou de roches (c'est l'érosion géologique), soit par détachement de fragments ou particules de sol ou de roches de leur emplacement initial (c'est l'érosion pluviale ou éolienne). Ces deux dernières formes d'érosion sont d'origine naturelle et sont le plus souvent favorisées et accentuées par les activités humaines (pratiques agricoles, exploitations forestières, pâturages, constructions de routes et de bâtiments).

Les sols influencent aussi l'écoulement et constituent également un facteur de la dynamique des écosystèmes naturels.

4-1-2-3- Sols et écoulement des eaux des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

La nature du sol intervient sur la vitesse de montée des eaux des masses d'eau.

Les sols de l'hydro-écorégion de l'Atacora sont des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur quartzite et micaschiste et sur gneiss à muscovite et à deux micas, des sols peu évolués sur quartzite et micaschistes, etc. sans oublier les dalles imperméables de pierres et de cuirasses. Ces sols sont très peu profonds et ont la propriété de se compacter en pellicules imperméables une fois imbibés d'eau. Ce qui ralentit l'infiltration et réduit le coefficient d'écoulement (qui serait peut-être plus élevée que les valeurs obtenues plus haut). L'infiltration y est favorisée par les fractures et les fissures des roches.

Quant aux sols de l'hydro-écorégion de Gourma, ce sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sur schistes, des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur schistes, des sols ferrugineux tropicaux lessivés avec ou sans concrétions, des sols peu évolués hydromorphes, sur matériau alluvial, etc. On y rencontre aussi parfois des dalles imperméables de cuirasses. Ces sols sont également peu profonds mais un peu plus que ceux de l'hydro-écorégion de l'Atacora. Ils ont aussi la propriété de se compacter une fois imbibés d'eau et deviennent plus ou moins imperméables en raison de la présence de l'argile et des schistes.

Les sols étant le support du couvert végétal, des plans d'eau et des activités humaines, les comportements de ces derniers, les uns envers les autres influent énormément sur l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin.

Ces comportements sont élucidés à travers l'étude des déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

4-2- Déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels

Les déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sont d'abord analysés à partir d'une étude diachronique de l'occupation du sol du bassin. Ensuite les déterminants sociaux, culturels et économiques ont été successivement décrits.

4-2-1- Analyse de la dynamique des écosystèmes naturels dans le bassin de la Pendjari

L'étude diachronique de l'occupation spatiale des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari a été réalisée pour évaluer les modifications des différentes unités d'occupation du sol entre deux (02) périodes (1972-1990 et 1990-2006). Pour ce faire, l'interprétation des images satellitaires et le contrôle terrain ont permis la réalisation des cartes d'occupation du sol des années 1972,1990 et 2006 du bassin versant de la Pendjari comme l'illustrent les figures 34, 35 et 36 et le tableau XV. Les analyses ont concerné une superficie totale de 10001,76 km^2 d'unités

d’occupation du sol regroupés en trois catégories d’utilisation des terres à savoir : les espaces naturels peu exploités, les espaces agricoles où dominent les activités rurales et les espaces urbanisés caractérisés par les habitations. Les cartes comportent les trois différentes catégories ou types d’utilisation des terres détaillées en unités d’occupation du sol. Les unités d’occupation du sol sont : les bas-fonds constitués par l’ensemble des prairies, des marécages et/ou des savanes herbeuses ; les forêts denses qui regroupent les galeries forestières et les îlots de forêts ; les savanes saxicoles qui sont en fait les savanes arborées et savanes arbustives des montagnes ; les champs et les jachères ; les affleurements rocheux ; les plans d’eau ; les plantations et les agglomérations.

L’analyse des figures 34, 35 et 36 permet de ressortir les différents types d’évolution des unités d’occupation du sol dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari entre les deux périodes.

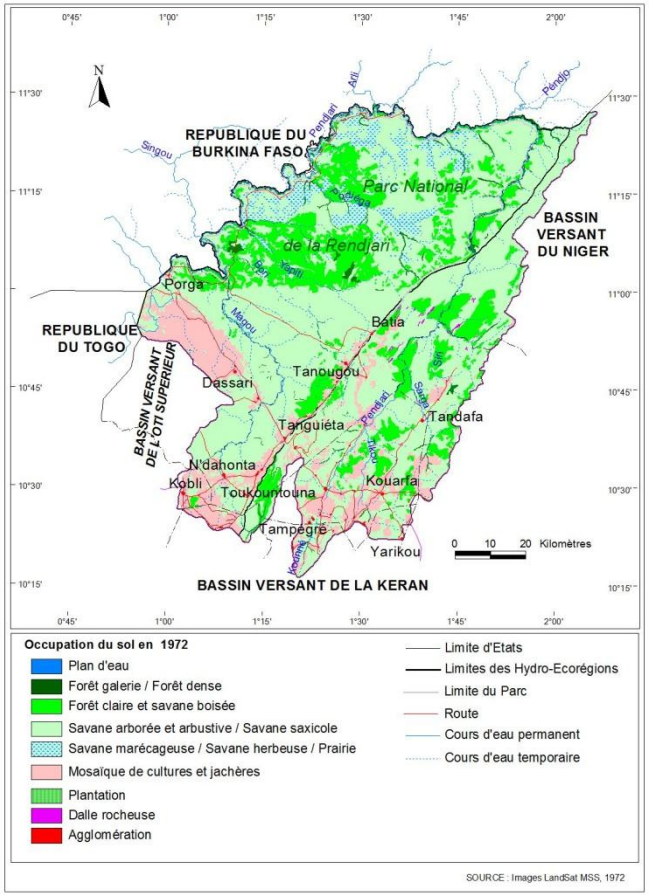


Figure 34 *: Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 1972*

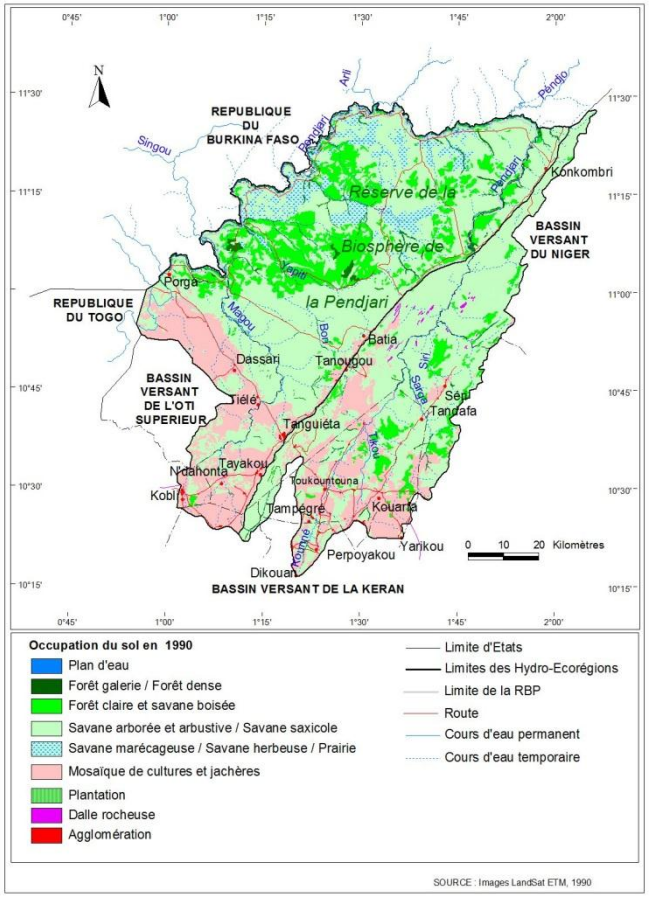


Figure 35 : *Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 1990*

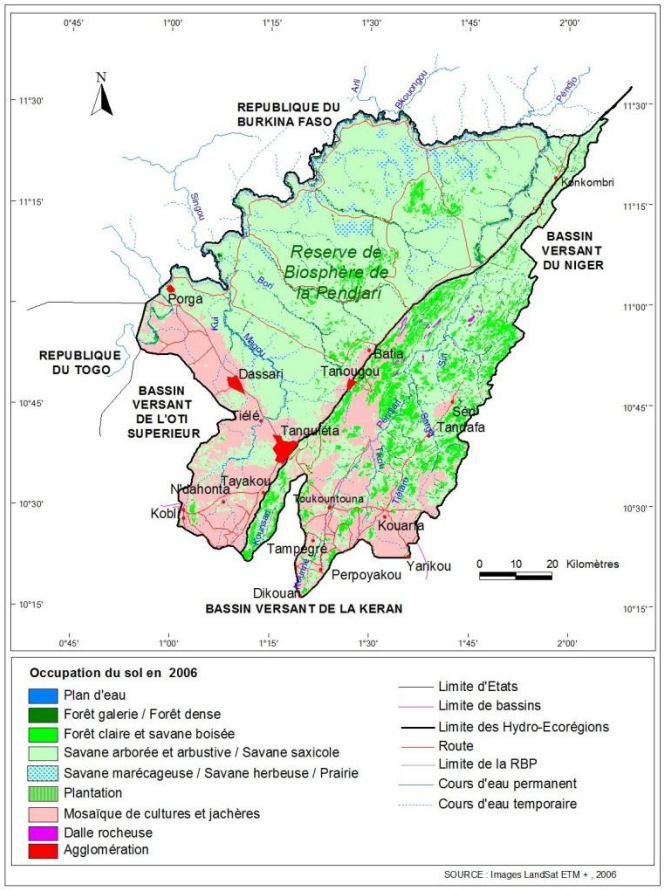


Figure 36*: Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 2006*

La figure 36 montre une reconstitution da la savane boisée dans la partie nord de l'HER de l'Atacora alors que ces mêmes formations ont connu une régression dans l'HER de Gourma. Cela peut s'expliquer par le fait que l'amélioration et le renforcement de la protection de la faune dans le parc Pendjari a entrainé une augmentation des mammifères. Le tableau XIV montre l'exemple de la croissance de quelques mammifères dans le Parc Pendjari en trois ans (2004-2006). Ce qui a entrainé la réduction des formations boisées dans l'HER de Gourma au profit de la savane qui est un milieu favorable à la vie des mammifères.

Tableau XIV **: Evolution du nombre de quelques mammifères dans le Parc Pendjari en trois ans (2004-2006)**

Années	**Buffle** (*Syncerus caffer*)	**Hippotrague** (*Hippopotragus equinus)*	**Cobe de Buffon** (Kobus kob)	**Phacochère** (*phacochoerus africanus*)	**Totaux**
2004	3	7	13	8	**31**
2005	11	20	22	23	**76**
2006	17	23	25	23	**88**

Source : DPNP, 2009

Quant à la reconstitution des formations boisées dans la partie nord de l'HER de l'Atacora, cela pourrait s'expliquer par le fait qu'elle fait partie des zones cynégétiques du parc Pendjari et bénéficie des activités de protection. En effet, dans le but de maintenir favorables les conditions des habitats de la faune et avec l'implication réelle et effective des populations riveraine à travers les AVIGREF, les feux précoces visant à éviter les feux tardifs et améliorer les ressources fourragères, et les feux de contre saison pour préserver les pâturages, ont été appliquées ces dernières décennies. La chasse n'y est pas interdite ni contrôlée et l'accès y est difficile pour les grands mammifères en raisons des pentes fortes et des falaises de la chaîne de l'Atacora.

Le tableau XV présente la récapitulatif de l'évolution des superficies des unités d'occupation du sol de 1972 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

Tableau XV : Evolution des superficies des unités d'occupation du sol de 1972 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

SUPERFICIES EN HECTARE (ha)										
		Agglomération	**Forêt claire et Savane boisée**	**Forêt dense**	**Savane marécageuse/ Savane herbeuse/ Prairie**	**Mosaïque de cultures et jachères**	**Savane saxicole/ savane arborée et arbustive**	**Affleurement rocheux**	**Plan d'eau**	**Plantation**
HER ATACORA	**1972**	797,7	50404,1	3342,0	552,8	51949,7	220515,3	1548,3	-	-
	1990	989,1	34084,5	3053,5	552,8	77035,7	211859,9	1534,4	-	-
	2006	3320,9	36940,3	2649,6	684,2	108475,5	175105,1	1934,4	-	-
HER GOURMA	**1972**	982,6	105790,3	19287,3	46827,9	65379,1	365288,3	-	194,4	21,2
	1990	1453,2	103676,2	19322,7	46773,3	95474,4	336945,5	-	104,6	21,2
	2006	3649,3	67769,2	17799,2	3703,7	199004,5	311240,4	-	503,0	101,8
SUPERFICIES EN POURCENTAGE (%)										
		Agglomération	**Forêt claire et Savane boisée**	**Forêt dense**	**Prairie/ savane marécageuse/ savane herbeuse**	**Mosaïque de cultures et jachères**	**Savane saxicole/ savane arborée et arbustive**	**Affleurement rocheux**	**Plan d'eau**	**Plantation**
HER ATACORA	**1972**	0,2	15,3	1,0	0,2	15,8	67,0	0,5	-	-
	1990	0,3	10,4	0,9	0,2	23,4	64,4	0,5	-	-
	2006	1,0	11,2	0,8	0,2	33,0	53,2	0,6	-	-
HER GOURMA	**1972**	0,16	17,5	3,2	7,8	10,8	60,5	-	0,03	0,004
	1990	0,24	17,2	3,2	7,7	15,8	55,8	-	0,02	0,004
	2006	0,6	11,2	2,9	0,6	33,0	51,5	-	0,1	0,017

Il ressort de l'analyse du tableau XV que parmi les unités d'occupation naturelle du sol, les savanes saxicoles, arborées et arbustives sont celles qui occupent le plus d'espace des hydro-écorégion (67,0 % ; 64,4 % et 53,2 % dans l'HER de l'Atacora, et 60,5 % ; 55,8 % et 51,5 % dans l'HER de Gourma, respectivement en 1972, 1990 et 2006). Ce sont elles qui ont connu le plus de dégradation suivies des forêts claires et savanes boisées et des forêts galeries, au profit des mosaïques de cultures et jachères (15,8 % ; 23,4 % et 33,0 % dans l'HER de l'Atacora, et 10,8 % ; 15,8 % et 33,0 % dans l'HER de Gourma, en 1972, 1990 et 2006) et des agglomérations (0,2 % ; 0,3 % et 1,0 % dans l'HER de l'Atacora, et 0,2 % ; 0,2 % et 0,6 % dans l'HER de Gourma). L'augmentation de plans d'eau enregistrés de 1990 à 2006 dans l'HER de Gourma peut s'expliquer par le fait qu'un certain nombre de mares ont été réalisées dans le Parc Pendjari au cours de cette période. Les travaux de Agbossou et Akoundé (2001) ont montré que des mares été créées et aménagées dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari.

De façon générale, il en résulte que l'occupation de l'espace des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari est caractérisée par une évolution régressive des espaces naturels. Cette régression est la conséquence des pressions anthropiques marquées par une évolution progressive des espaces agricoles et habités. Les populations du milieu sont conscientes de ce phénomène et l'expriment selon leur perception. Le tableau XVI présente la perception paysanne de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.

Tableau XVI : **Perception paysanne de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari**

Dynamique observée	**Non**	**Oui**	**Espèces affectées** (Si oui, lesquels)	**Vitesse (**en combien de temps ?**)**						**Causes/origines**
				Ne sait pas	1 an	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	
Disparition d'espèces végétales	77%	23%	Iroko (*Milicia excelsa ou Chlorophora excelsa*), *Combretum nigricans*, ronier (*Borassus aethiopum*), Tokotodji en wama (arbre du milieu qui a donné son nom à Toukountouna).	48%	4%	12%	19%	12%	6%	
Diminution d'espèces végétales	6%	94%	Tamarinier (*Tamarindus indica*), Corossol sauvage [munamutimu en ditamari, yonribu en waama, wowaru en biali] (*Annona senegalensis*), badamier [mukinribou en ditamari] (*Terminalia catappa*) , karité [Mutammu en ditamari, Tambu en waama, Tanta en biali] (*Vitelaria paradoxa*), néré (*Parkia biglobosa*), baobab (*Adansonia digitata*), kapokier (*Bombax buonopozense* et *Bombax costatum*), vêne [kosso en fongbé] (*Pterocarpus erinaceus*), caïlcédrat (*Khaya senegalensis*), lingué (*Afzelia africana*), *Kigelia africana* [Sototooribu en waama, butchotchombu en gurmacéma], Ebène (*Diospyros mespiliformis*).	21%	4%	44%	4%	17%	10%	Agriculture extensive ; feux de végétation ; augmentation de la population; insuffisance des terres cultivables ; surexploitation des sols (exploitation des mêmes sols toutes les saisons) ; mauvaises pratiques culturales ; appauvrissement des sols ; aléas climatiques ; insuffisance de pluies ; sécheresse.
Augmentation d'espèces végétales	50%	50%	Manguiers (*Mangifera indica*), anacardier (*Anacardium occidentale*), eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*), teck (*Tectona*	54%	2%	31%	6%	6%	2%	Reboisement, recherche du bois d'œuvre à croissance rapide ; recherche de l'argent, importation

			grandis), neem (*Azadirachta indica*), arbre à étage (*Terminalia mantaly*).							; colonisation par les blancs.
Disparition d'espèces animales	44%	56%	Girafe (*Giraffa camelopardalis peralta)*, cerf (*Cervus elaphus)*.	42%	12%	4%	25%	8%	10%	Augmentation de la population ; mauvaises pratiques de chasse (chasse à la battue, braconnage) ; feux de végétation, déboisement ; aléas climatiques ; tarissement des eaux de surface ; manque de points d'eau ; pollution des eaux de marigot par les engrais chimiques et les intrants agricoles ; amenuisement de la couverture végétale ; sécheresse.
Diminution d'espèces animales	21%	79%	Guépard (*Acinonyx Jubatus*), renard (*Vulpes pallida*), chacal (*Canis adustus*), damalisque (*Damaliscus lunatus korrigum*), cobes (*cobus kob kob et cobus defassa*), phacochères (*phacochoerus africanus*), lièvre (*Lepus saxatilis*), buffles (*Syncerus caffer*), lycaon (*Lycaon pictus*), varan (*Varanus niloticus*), crocodile (*Crocodylus palustris*), boa (*Eryx conicus*), francolin (*Francolinus bicalcaratus*), pintade sauvage (*numida meleagris*), Tourtelle à collier noir au cou (*Streptopelia semitorquata*).	23%	4%	37%	12%	12%	13%	
augmentation d'espèces animales	60%	40%	Autruches (*Struthio camelus*), aulacodes (*Thryonomys swinderianus*), lapin (*Oryctolagus cuniculus*), canard (*Anas platyrhynchos*), pigeon (*Columba palunmbus*).	67%	6%	21%	0%	6%	0%	Elevage moderne
disparition d'espèces halieutiques	69%	31%	poisson dénommé capitaine (*Lethrinidae)*, poisson à tête de cheval (*Acantopsis choirorhynchus*) [toutika en wama], debekoun (en wama), anguille (*Anguilla anguilla*).	37%	4%	13%	27%	10%	10%	Surexploitation des cours d'eaux, pollution des eaux par les engrais chimiques et les intrants agricoles; non-respect des normes de pêche ; mauvaises pratiques de pêche (ex : empoisonnement de l'eau de
Diminution	21%	79%	Carpes (*Cyprinus carpio*), grenouilles	27%	0%	27%	21%	13%	12%	

d'espèces halieutiques			(*Rana klepton esculenta*), crevettes (*Crangon vulgaris*), silures (*Silurus glanis*), crabes (*Cancer irro*ratus), sardine (*Sardina pilchardus*), rhinocéros (*Diceros bicornis*).							marigot avec les pesticides agricoles ou avec les enveloppes de fruits de néré pour enlever les poissons) ; destruction de la végétation autour des cours d'eau ; agriculture sur les berges des cours d'eau ; envasement des cours d'eau ; comblement des cours d'eau par ensablement ; tarissement des rivières et marigots.

Source : Résultats des enquêtes de terrain (2010)

NB : *Les espèces citées dans ce tableau comme ayant disparu ou diminué, proviennet des révélations des populations enquêtées sur le terrain. Ces révélations ne sont pas prouvées par les structures et services compétentes.*

Le tableau XVI montre que les populations des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari perçoivent la dynamique des écosystèmes naturels en termes de présence ou non des végétaux et des animaux. Elles identifient les espèces végétales et animales (terrestres ou aquatiques) ayant diminué ou disparu dans un laps de temps estimé entre 5 et 10 ans, et les causes de cette dynamique. Elles reconnaissent également les espèces ayant connu une augmentation. Ces espèces sont, selon elles, venues d'ailleurs soit pour satisfaire le problème d'insuffisance des ressources (le bois d'œuvre et d'énergie, l'argent, la nutrition, etc.) soit pour l'ornement. Leurs origines remontent même jusqu'à la colonisation. L'identification des espèces ayant disparu ou diminuées et la vitesse de la dynamique par les populations, est basée uniquement sur leur mémoire et le constat de l'absence ou de la rareté de telle ou telle espèce végétale ou animale. Le tableau XVI permet de constater que les réponses ne font pas l'unanimité de tous les enquêtés, mais d'une partie de ces derniers. Les espèces listées sont celles citées par ceux qui ont répondu positivement. Il est à remarquer que la vitesse de la dynamique est pour la plupart sans réponse (Ne sait pas). Ce qui signifie que la mémoire populaire n'est toujours pas fidèle au temps en ce qui concerne la dynamique des ressources naturelles.

Par ailleurs, la plupart des espèces citées comme disparues ou diminuées selon les populations, se retrouvent dans la liste des espèces identifiées par la DPNP dans le Plan d'Aménagement Participatif et de Gestion (2004-2013) du Parc National de la Pendjari, comme espèces figurant dans les annexes I, II, III de la CITES (annexe 7). Certaines de ces espèces figurent aussi dans la liste rouge des espèces menacées de disparition de l'UICN ; c'est le cas de l'anguille (*Anguilla anguilla*).

Autant que les espèces animales et végétales, les populations du bassin versant de la Pendjari observent également la dynamique des masses d'eau dans le temps. Le tableau XVII présente le récapitulatif de la perception paysanne de cette dynamique.

Tableau XVII : Perception paysanne la dynamique des masses d'eau dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Catégorie de ressources en eau	**Dynamique observée**								**Origines / Cause de la dynamique observée**
		Oui	**Non**	**Si oui, il y a combien de temps ?**					
				10 ans	**20 ans**	**30 ans**	**40 ans**	**Ne sait pas**	
Cours d'eau	Disparition	8%	92%	5%	14%	20%	0%	59%	Sécheresse; aléas climatiques; érosion par le ruissellement; coupe des arbres aux bords des cours d'eau; piétinements des berges par les troupeaux des transhumants; surexploitation des sols; agriculture sur les berges des cours d'eau; ensablement.
	Diminution	**86%**	**14%**	8%	12%	31%	30%	19%	
	Augmentation	0%	100%	-	-	-	-	-	
Marigots	Disparition	59%	41%	10%	7%	29%	22%	32%	
	Diminution	43%	57%	3%	13%	25%	24%	35%	
	Augmentation	14%	86%	23%	12%	21%	6%	38%	
Mares	Disparition	69%	31%	6%	14%	24%	23%	33%	Sécheresse, érosion du sol, coupe des arbres aux berges des cours d'eau, piétinements des berges par le bétail des transhumants, surexploitation des sols, agriculture sur les berges des cours d'eau, ensablement. Plus de respect des pratiques traditionnelles qui permettaient de protéger les ressources naturelles : plus de respect entre les jeunes et les vieux ; incivisme développé ; plus de morale ; plus de croyance à la tradition ; utilisation des objets interdis aux lieux sacrés ; ignorance et abandon de la tradition induit par la
	Diminution	21%	79%	11%	19%	24%	18%	28%	
	Augmentation	0%	100%	-	-	-	-	-	
Sources de surgescence d'eau	Disparition	79%	21%	11%	9%	22%	31%	27%	
	Diminution	41%	59%	7%	8%	14%	25%	46%	
	Augmentation	0%	100%	-	-	-	-	-	

									modernisation, mimétisme de l'occident ; interdits et coutumes bafoués ; plus de respect des fétiches ; influence d'autres cultures, etc.
Retenues d'eau / Barrages	Disparition	0%	100%	-	-	-	-	-	Augmentation de l'effectif de la population ; diminution de la durée de la saison des pluies ; Aménagements routiers ; Projets agricoles ; Interdiction d'entrer dans la Réserve protégée.
	Diminution	23%	77%	9%	20%	23%	8%	40%	
	Augmentation / Apparition	73%	27%	7%	26%	24%	18%	25%	
Etangs / Surcreusements	Disparition	36%	64%	11%	29%	16%	11%	33%	
	Diminution	31%	69%	8%	22%	25%	6%	39%	
	Augmentation / Apparition	71%	29%	9%	27%	22%	19%	23%	

Source : Résultats des enquêtes de terrain (2010).

A l'instar du constat fait dans le tableau XVI, le tableau XVII montre aussi que les réponses ne font pas l'unanimité de tous les enquêtés, mais d'une partie de ces derniers. Le constat est le même par rapport à la mémoire sur la vitesse de la dynamique masses d'eau.

L'analyse du tableau XVII permet de dire que les populations du bassin versant béninois de la Pendjari perçoivent la dynamique des cours et plans d'eau en termes de disponibilité ou non des points d'eau. Elles distinguent la diminution, la disparition et même l'augmentation ou apparition, puis identifient les causes de la dynamique observée. La durée est approximativement estimée en référence aux événements qui se sont produits en ces moments.

En effet, la mémoire populaire des habitants du bassin versant béninois de la Pendjari a révélé que depuis les sécheresses intervenues pendant la période où Maga a pris le pouvoir (référence aux années 1960) et après l'année où Kérékou a pris le pouvoir (référence aux années 1970), certaines sources et mares ont définitivement tari. Selon elles, les cours d'eau deviennent de moins en moins profonds et tarissent de plus en plus vite au fil des années. A la question par exemple de savoir "quelles sont les années où toutes les mares de la région ont tari ?" ; la première réponse presque commune est que "d'abord chaque année les mares tarissent, mais il y a des mares qui ne tarissent jamais sauf en cas de grande sécheresse". Il s'agit des mares Bali, Bori et Tabiga; toutes situées à l'intérieur du Parc Pendjari. Ensuite les périodes pendant lesquelles Maga et Kérékou ont pris chacun le pouvoir, ont été citées ainsi que les années 1983, 1984, 2000, 2003 et 2006 comme moments que ces mares ont tari.

Les révélations de la mémoire populaire confirment les récessions pluviométriques et les sécheresses intensives connues dans l'Atacora-Ouest, au Bénin et en Afrique de l'ouest démontrées par les recherches scientifiques antérieures (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999 ; Gnitona, 1999 ; Idiéti, 2004 et 2009 ; Ogouwalé, 2006 ; Kanohin *et al*, 2009 ; Amani *et al*, 2010 ; etc.).

4-2-2- Déterminants socio-culturels

Les déterminants d'ordre social et culturel de la dynamique des écosystèmes sont multiples et variés. Ils ont été largement développés par Ouassa Kouaro (2008) et se résument comme suit :

- Le premier facteur social est ***la démographie***. L'augmentation de l'effectif des populations est la principale force de pression sur les écosystèmes.

L'hydro-écorégion de l'Atacora a connu un effectif de population évalué à 211 686 habitants en 1992. Cet effectif est passé à 303 386 habitants en 2002 et estimée à 430 963 habitants en 2012.

Quant à l'hydro-écorégion de Gourma établit sur les communes de Matéri, Cobli et Boukombé, l'effectif de la population était 155 094 habitants selon le RGPH 1992. Il est passé à 190 949 habitants d'après le RGPH 2002 et serait à 238 477 habitants en 2012 selon les résultats de projection.

La figure 36 présente la répartition et l'évolution de la démographie de 1992 à 2012 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari.

Cette croissance démographique continue dans les deux hydro-écorégions accroit les besoins dans tous les domaines :

- augmentation des besoins de consommation (vivres, eau, énergie, lieux de loisir, etc.) d'où la surexploitation des ressources naturelles ;
- augmentation de la demande en denrées agricoles sur marché local et international ;
- augmentation de besoin en logements d'où l'extension des espaces bâtis, l'urbanisation (lotissement, infrastructures routières, électrification, etc.) ;
- augmentation du trafic de circulation et de transport ;
- insuffisance des terres cultivables, d'où l'exode rural, la conquête d'autres terres ;
- etc.

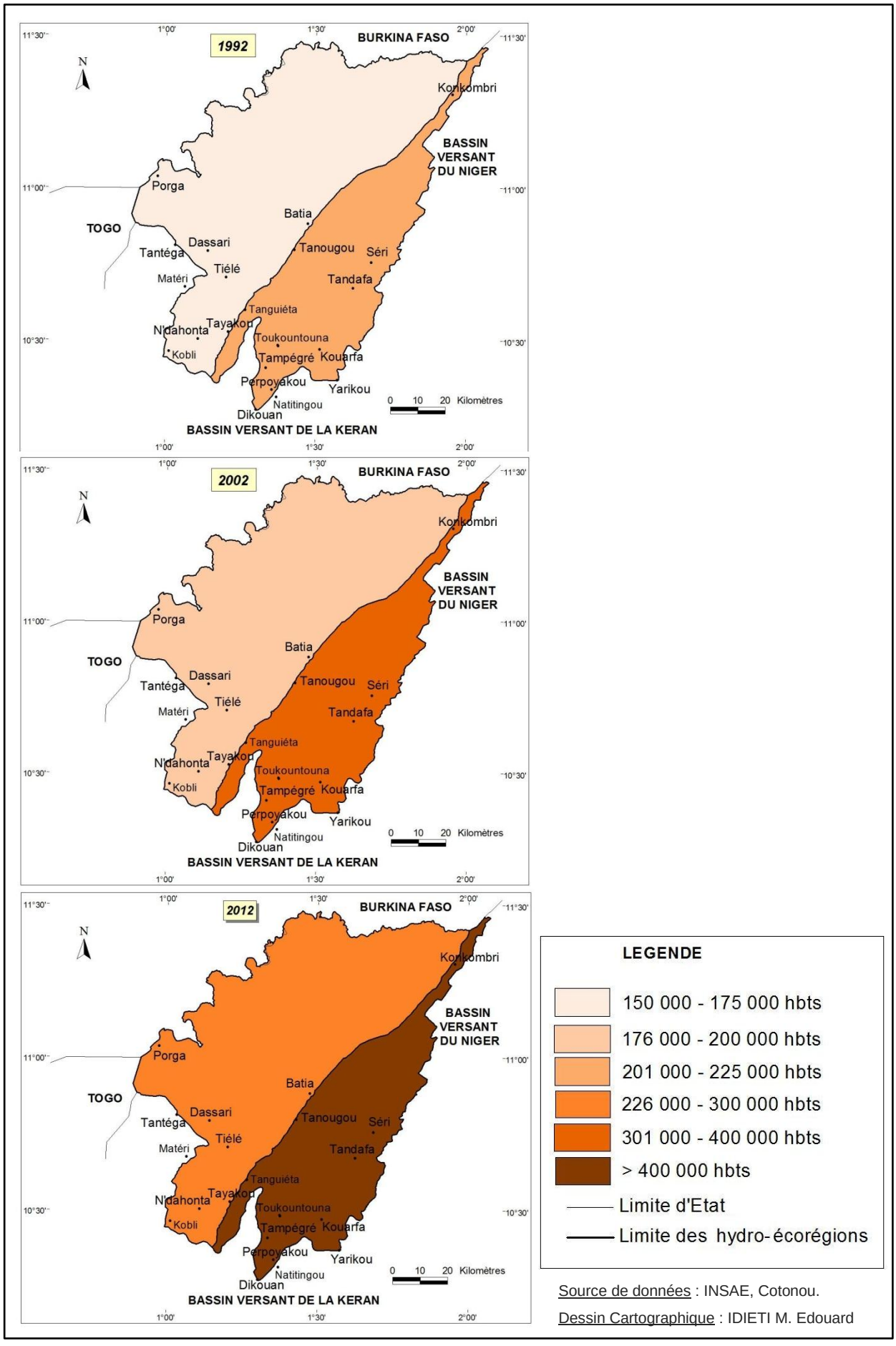


Figure 34: *Evolution de la démographie dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*

En plus de la démographie, il y a la chasse, les pratiques cultuelles, la pharmacopée et les faits historiques qui sont aussi les forces de pression exercées sur les écosystèmes naturels.

- En effet, ***la chasse*** traditionnelle/sportive a été toujours une activité sociale et culturelle saisonnière des populations dans le bassin versant béninois de la Pendjari (Ouassa Kouaro, 2008). Les personnes qui s'adonnent au braconnage le font parce qu'elles ont une certaine habitude de chasser. Les pratiques de la chasse sont transmises de génération en génération et relèvent d'une affaire de caste, de famille. Les aptitudes reconnues des chasseurs sont sollicitées lors de cérémonies festives ou toute autre fête pour lesquelles les populations ont des besoins prononcés en viande. Le caractère informel et illicite de cette activité ne permet pas d'avoir les statistiques pour évaluer la quantité ou le nombre d'espèces animales abattues. Mais il est reconnu qu'elle a des impacts négatifs sur la biodiversité.

- L'utilisation des ressources naturelles dans ***les pratiques cultuelles*** est courante dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. En effet, les communautés utilisent les ressources en eau, les animaux et les végétaux dans diverses pratiques rituelles et coutumières. Il n'est pas rare de voir les bosquets ou forêts sacrés ou d'entendre que telle ou telle espèce animale est sacrée, ou encore d'entendre que telle source ou telle mare ou marigot est sacré ou abrite une divinité. C'est le cas par exemple de la mare Bori dans le Parc-Pendjari et au village de Tchatingou (Commune de Tanguiéta), les trous d'eau dans la roche, sources de la cascade de Tanoungou, sont gardés par une divinité représentée par un serpent dans l'eau (Photos 8 a, b, c et d).



a

b c d

Photo 8 : *Trous d'eau sacrés et fétiche à Tchatingou, sources de la cascade de Tanoungou*

Sur l'image "a" se trouve les deux trous d'eau dans la grotte (encerclés en rouge et agrandis en images "b" et "c"), d'où coule l'eau qui alimente les cascades de Tanoungou. Sur l'image "d", se trouve un serpent dans l'eau sous une grotte non loin de celle des trous d'eau. Ce serpent représente la divinité gardienne des trous d'eau.

Clichés : Clichés Idieti, 2009

« Les braconniers affirment que la brousse est sacrée et que n'importe qui ne pourrait y entrer pour s'adonner à la pratique de la chasse. Pour cela, ils effectuent des rites de préparation au cours desquels ils consomment des substances mystiques qui, selon leurs dires, sont sensées les protéger contre les éventuelles difficultés sur le terrain » (Ouassa-Kouaro, 2008). Ces substances mystiques sont faites à base de plantes et/ou d'animaux. Pendant les cérémonies, l'eau est le principal élément utilisé avant tout. On dénombre au total 152 forêts sacrées (N'Tia, 2006) dans la commune de Boukombé et dans le département de l'Atacora, les rivières sacrées font 7,3 %, les arbres sacrés 49,1 %, les sites sacrés 21,8 % et les autres éléments sacrés 21,8 % (Azonpkonon, 2001cité par N'Tia, 2006).

Il faut noter que les pratiques rituelles et coutumières ont très peu d'impacts négatifs sur les écosystèmes. Au contraire, elles protègent. Car la nécessité d'un animal, d'une plante ou d'un écosystème (forêt ou plan d'eau) pendant les cérémonies, oblige à conserver, cultiver ou élever cette espèce ou écosystème. Selon FAO (2005), les populations protègent leurs forêts pour diverses raisons qui sont en fait les fondements de la sacralisation de ces forêts à savoir : le fétichisme (60%), les cimetières (18%), les sociétés secrètes (21%), les raisons sociales (10%) et autres raisons (1%).

- A l'instar des pratiques cultuelles, ***la pharmacopée*** est un facteur social intervenant dans la dynamique des écosystèmes naturels. Outre l'alimentation, les ressources des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari sont utilisées pour les besoins de la pharmacopée. Le pancréas de l'hippotrague sert à préparer des filtres d'amour, l'estomac du porc-épic est utilisé pour calmer les coliques ; l'utérus du Cob defassa sert à guérir les problèmes d'infertilité féminine (Ouassa Kouaro, 2008). La plante appelée *crossus crossunum* sert à laver le ventre d'une femme qui vient d'accoucher ; *Dapenim* (en langue biali) est un arbre qui sert à guérir la paralysie ; celui appelé *Minika* (en biali) guérit la toux, les douleurs et la fièvre ; quant à *pukohotiou* (en biali) il guérit les maux de ventre et la fièvre ; etc. (résultat de terrain, 2009).

- ***Les faits historiques*** (Ouassa Kouaro, 2008) sont aussi importants dans la dynamique des écosystèmes du bassin versant de la Pendjari. En effet, pendant les travaux de construction du barrage de Koumpienga au Burkina Faso dans les années 1980, une industrie artisanale de production de charbon de bois a vu le jour. Parmi les ouvriers, nombreux furent les béninois du bassin versant de la Pendjari. "Une fois la construction du barrage achevée, les migrants de retour ont reproduit ces activités de charbonniers dans leurs milieux respectifs et, pour ce faire, ont détruit presque toutes les forêts galeries. Il n'est pas rare de trouver sur le long de la route inter Etat (Bénin – Burkina-Faso), l'exposition des sacs de charbon de bois en vente. Or, cette activité n'existait pas traditionnellement. De plus, ceux qui ont émigré dans le Borgou (Parakou, Tchaourou, Nikki), la Donga (Bassila) et dans les Collines (Ouèssè, Glazoué et Savè) ont également appris ces techniques de production dans leurs lieux d'émigration et ont ramené ces pratiques destructrices du couvert végétal dans leurs milieux d'origine du fait de la pauvreté des sols et de la recherche de diversification de sources de revenus (Ouassa Kouaro, 2008).

4-2-3- Déterminants économiques

Il s'agit des activités régulières des communautés de la dynamique des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari.

☞ ***L'agriculture*** est la principale activité des populations du bassin versant béninois de la Pendjari. Base de l'économie des populations, c'est elle qui assure la sécurité alimentaire des populations vivant dans le bassin. Elle utilise plus de 65% de la population active. Outre les principales cultures qui sont le sorgho, le mil, le maïs, le niébé, l'igname, le manioc, le tabac ; les cultures de rente que sont le coton, l'arachide et plus récemment le riz occupent une place de choix pour les échanges et la monétarisation. Les terres cultivables sont les seuls cibles de prédilection à ces fins. Hormis les zones bâties, les dalles rocheuses et les superficies occupées par les eaux, toutes les terres du bassin versant béninois de la Pendjari sont présumées cultivables. Elles sont évaluées à environ 993658 ha (Occupation du sol 2006). Chaque année, des terres sont défrichées aux fins agricoles au détriment des écosystèmes naturels. La figure 37 présente l'évolution des superficies cultivées en 10 ans (1997 - 2006) dans le bassin versant béninois de la Pendjari.

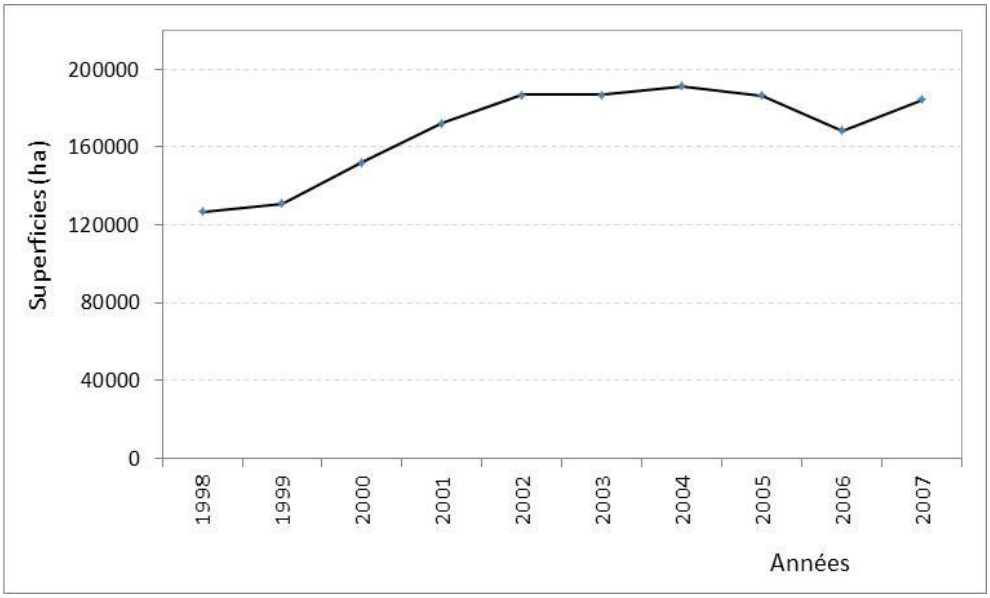


Figure 35 : Evo*lution des superficies cultivées dans le bassin versant béninois de la Pendjari de 1997-2006*

Source : Annuaires statistiques agricoles de 1998 à 2007 ; MAEP, 2009

Il ressort de l'analyse de la figure 37 que les superficies emblavées augmentent chaque année. Cette augmentation est due essentiellement à un système agricole extensif avec des techniques encore archaïques. Ce système agricole est caractérisé par le brûlis, le défrichage et le labour toujours en conquête de nouvelles terres fertiles. Déjà assez dévastateurs des

écosystèmes naturels, ils ont été renforcés par de la culture du coton, culture de rente qui nécessite l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides. Il en résulte la dégradation accélérée du couvert végétal, l'appauvrissement des sols, l'assaut des cultures sur les berges des cours d'eau, la pollution des eaux par les engrais chimiques et les pesticides, l'ensablement et le comblement des cours d'eau, etc.

☞ **L'élevage** est la seconde activité économique qu'exercent les populations du bassin versant béninois de la Pendjari. La production animale est dominée par les petits ruminants (ovins, caprins), la volaille et les porcins.

Les espèces élevées sont des races locales adaptées au milieu. L'élevage de gros bétail est du type transhumant réservé aux peulhs tandis que les petits animaux domestiques sont l'affaire de toute ethnie. Les deux sexes pratiquent l'aviculture mais avec une prédominance des hommes.

L'élevage de case (volaille et petits ruminants) est caractérisé par la divagation libre des animaux dans la nature et la vaine pâture. Il n'y a pas une organisation de mise en enclos ou en cages permanente. Les animaux (volaille et/ou petits ruminants) sont libérés des cases de maisons tous les matins et récupérés les soirs. Quant à l'élevage de bovins, il est caractérisé par des pâturages non organisés. Les éleveurs guident leurs animaux à la recherche de l'herbe fraiche et de l'eau pour les nourrir et les abreuver. La figure 38 présente l'évolution du cheptel de 1998 à 2007 (10 ans).

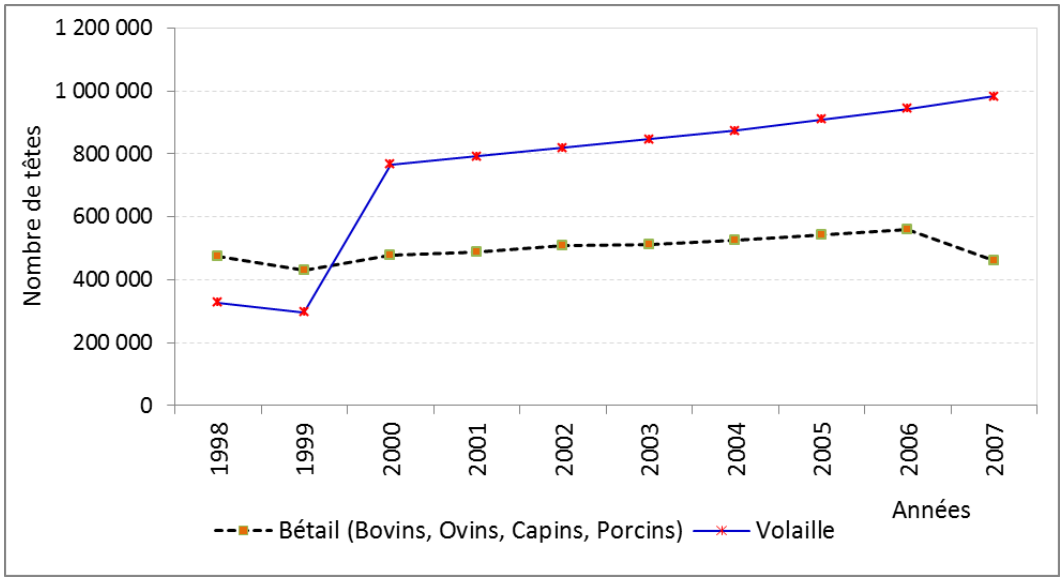


Figure 36 : *Evolution du cheptel dans le bassin versant de la Pendjari de 1998 à 2007*

Source : Annuaires statistiques agricoles de 1998 à 2007 ; MAEP, 2009

Ces formes d'élevage sont très néfastes aux écosystèmes naturels car la mauvaise gestion des pâturages et des transhumances entraine des graves destructions des ressources naturelles (piétinement, fragilisation du sol accentuant l'érosion, destruction des berges des cours d'eau, etc.).

L'analyse de la figure 38 permet de dire qu'il y a une tendance à l'augmentation du cheptel au fil du temps dans le bassin versant de la Pendjari. Ce qui amène à dire que la perspective de menace des écosystèmes naturels existe.

Les données sur la capacité de charge par rapport au cheptel ne sont pas disponibles. Néanmoins, la capacité de charge de l'ensemble de l'écosystème de la RBP est estimée à 2742 kg/km^2 (PAPG-PNP, 2009) par rapport à la faune sauvage. Il a été estimé que les populations animales sont à moins de 50% de la capacité réelle de charge de l'écosystème.

Outre la destruction des ressources naturelles, la mauvaise gestion des pâturages et des transhumances entrainent des conflits au sein des populations (entre éleveurs et agriculteurs, entre éleveurs et pêcheurs) car les troupeaux de bétails dévastent les champs des paysans et détruisent les mares et marigots des pêcheurs.

☞ Outre l'agriculture et l'élevage, les produits *de chasse* et *de pêche* sont commercialisés chaque jour sur les marchés. Ces produits sont issus de l'exploitation des écosystèmes naturels du bassin versant béninois de la Pendjari.

En effet, « la ***chasse*** pratiquée aux alentours de la Zone d'Occupation Contrôlée (ZOC) située entre la Réserve de la Biosphère de la Pendjari et les villages riverains, constitue une activité saisonnière des communautés locales » (Ouassa-Kouaro, 2008). En dehors de la chasse sportive et le braconnage qui sont illicites, il y a la chasse autorisée aux chasseurs assermentés dans le Parc-Pendjari où les animaux à tuer sont sélectionnés et contrôlés après abattage (Photo 9).



Photo 9 : *Cobe tué dans le Parc-Pendjari et ramené au campement de chasse à Tanoungou pour contrôle.*

En avant plan, se trouve le Cobe tué et les gardes-faune en tenue militaire qui mesurent les dimensions de l'animal. En arrière-plan à l'extrémité droite, se trouvent les cases du campement de chasse de Tanoungou. .

Source : Cliché Idiéti, 2009

La ***pêche*** quant à elle se pratique le long de la rivière Pendjari. Cette activité est en cours d'organisation par les pêcheurs eux-mêmes avec l'appui de la Direction de la RBP à travers l'AVIGREF. Selon les responsables de l'AVIGREF, une périodicité de pêche sur la rivière Pendjari est définie ; mais cette périodicité n'est pas toujours respect de par les pêcheurs du Burkina Faso. Outre cette lueur d'organisation, la pêche traditionnelle continue son cours avec les outils tels que la nasse, les filets, l'hameçon, etc. Certaines pratiques restent encore déplorables car elles sont très néfastes aux écosystèmes naturels. En effet, outre les pollutions des cours et plans d'eau par engrais et pesticides chimiques agricoles, il est déploré les pratiques d'introduction des substances toxiques dans les marigots aux fins de récolter facilement et rapidement une quantité importante de poissons.

Conclusion partielle

L'étude des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels de ces hydro-écorégions (HER) a permis de comprendre que les écosystèmes naturels sont menacés par des facteurs de divers ordres. En effet, l'étude de la variabilité pluviométrique a montré que l'HER de l'Atacora a connu plus d'années de sécheresse que l'HER de Gourma. L'étude des déficits pluviométriques et hydrologiques révèle que l'HER de l'Atacora a été plus affecté que l'HER de Gourma au cours de la période 1960-2006. Les déficits pluviométriques ont amplifié les déficits hydrologiques à 575% dans l'HER de l'Atacora et à 371% dans l'HER de Gourma.

L'analyse du coefficient d'écoulement a montré qu'il est plus élevé dans l'hydro-écorégion de Gourma (6,2 %) que dans l'hydro-écorégion de l'Atacora (5,4 %) sur la période d'étude (1961-2006).

L'analyse de la dynamique des écosystèmes naturels a montré que les formations végétales que sont les savanes saxicoles, arborées et arbustives et les forêts claire et savanes boisées, occupent le plus d'espace des hydro-écorégions et sont celles qui ont connu le plus de dégradation, au profit des mosaïques de cultures et jachères et des agglomérations. La croissance démographique avec pour corollaire l'augmentation des besoins et la demande en denrées agricoles sur le marché local et international et, les activités/pratiques telles que l'agriculture, l'élevage, la chasse, la pêche, la carbonisation, les pratiques cultuelles, la pharmacopée sont les déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels.

Les populations autochtones des hydro-écorégion du bassin versant de la Pendjari développent des stratégies d'adaptation sur la base de leurs connaissances, leurs savoirs et leurs savoir-faire.

CHAPITRE 5 :

STRATEGIES D'ADAPTATION A LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI

Introduction partielle

Dans les pays subsahariens où l'agriculture occupe environ 75% de la population active (Gnitona, 2000), l'eau et le climat constituent deux facteurs de l'environnement très déterminants pour les hommes. En combinaison avec les facteurs pédo-géologiques et topographiques, ils influencent considérablement la dynamique des écosystèmes naturels. Toutefois, les populations adoptent des stratégies pour s'adapter à la dynamique des écosystèmes.

Dans ce chapitre, nous présentons les stratégies endogènes qui sont les pratiques empiriques des populations sur la base de leur vécu quotidien, et les mesures institutionnelles et réglementaires de la gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari

5-1- Stratégies endogènes

Les populations autochtones du bassin versant de la Pendjari ne sont pas restées inactives face aux contraintes naturelles auxquelles elles sont confrontées. Les stratégies endogènes d'adaptation sont développées face aux facteurs climatiques, hydriques, pédo-géologiques et topographiques.

5-1-1- Adaptation aux contraintes climatiques

Les sécheresses et les excès pluviométriques sont des contraintes climatiques face auxquelles les populations adoptent des stratégies.

Les contraintes liées à l'alternance des saisons se résument comme suit :

- Pendant la saison sèche, les populations souffrent de l'harmattan (vent sec, poussière, froid les matins et la nuit), du soleil brulant, de la chaleur forte et de la pénurie d'eau. Les stratégies développées pour s'adaptent à ces contraintes sont : se réchauffer autour du feu de bois, porter des habits contre le froid et la déshydratation, se laver plus fréquemment pour atténuer la chaleur, s'abriter sous des arbres ombrageux, etc.
- Pendant la saison pluvieuse, la fraîcheur et l'inondation des cultures installées près des cours d'eau sont les principales contraintes pour lesquelles les populations, pour s'adapter, portent les habits contre le froid. Ils font des labours de grosses butes ou de gros billons perpendiculairement au sens du ruissellement afin résister à l'inondation et à l'érosion.

En ce qui concerne les sécheresses, les contraintes pour lesquelles les populations développent les stratégies d'adaptation se résument comme suit : le sol sec et dur, beaucoup de poussière, les cours d'eau asséchés, les puits tarissent, la pénurie d'eau, les plantes et les cultures asséchées, la chaleur intense, trop de vent dans tous les sens. Les stratégies

développées pour s'adapter à ces contraintes sont entre autres : la confection de petits billons pour contenir le peu de pluie qui viendrait, le recours aux mares et sources résistantes dans le Parc Pendjari, l'aménagement des mares, le recours aux forages et puits à grand diamètre.
Quant aux contraintes liées aux excès de pluies, les populations sont confrontées à la pluie sans cesse pendant plusieurs jours successifs, au sol lourd à labourer, au débordement des cours d'eau, à la destruction des champs et des habitations, etc.
Pour faire face à ces contraintes, les populations font à titre préventif, des labours de grosses buttes ou de gros billons résistants à l'inondation. Lorsqu'il ya excès d'eau, le réflexe des populaions est de drainer les sols afin d'évacuer les excès d'eau.
Il faut noter que ces stratégies sont les mêmes dans les deux hydro-écorégions du bassin.

5-1-2- Adaptation aux contraintes hydriques

Le problème de disponibilité en eau est la principale contrainte hydrique à laquelle les populations développent des stratégies d'adaptation. En effet, pour remédier à la contrainte de manque d'eau dans les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari, les stratégies mises en œuvre par les populations sont les suivantes : l'aménagement des mares et sources, la réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau, la réalisation de forages et/ou de puits, la réalisation des surcreusements ou des barrages.

5-1-2-1- Aménagement des mares et sources

L'aménagement des mares et sources est bien promu et développé dans la commune de Boukombé par l'ONG Alpha et Oméga – Environnement dans le cadre du renforcement de capacités de planification et d'organisation des paysans pour l'exploitation écologiquement durable des ressources naturelles.
L'aménagement d'une mare consiste à recreuser la cuvette de la mare si nécessaire, à placer des moellons (pierres non taillées ou grossièrement taillées, de petites dimensions) anti-érosifs sur le talus de la cuvette, à ériger des diguettes de protection autour de la cuvette. Certaines mares possèdent des ouvrages de déversement permettant à la mare de vider le surplus d'eau vers les ruisseaux ou les cours d'eau les plus proches. Ils peuvent servir aussi de point d'accès à la mare (Photo 10).



Photo 10 : *Mare aménagée à Kounagningou (Boukombé)*
Au premier plan, se trouve les moellons autour de la mare et la diguette de protection en arrière-plan.
Source : Cliché Idieti, 2004.

Quant à une tête de source, son aménagement consiste à la surcreuser en lui donnant une forme rectangulaire (de 2,80 m sur 2,40 m). A l'intérieur de ce trou est construite une cuvette en béton armé (de 2,50 m de hauteur) et de même forme. Ces murs sont perforés en remontant de l'extérieur vers l'intérieur sur deux des côtés de l'ouvrage. Entre ces crépines et la paroi du trou est installé un massif filtrant de 10 cm d'épaisseur. La cuvette est fermée par une dalle 10 cm d'épaisseur munie d'une portière de 1 m x 0,70 m puis un sceau et une corde pour l'exhaure. Un tuyau de 40 cm de diamètre est à la côte 2,20 m et permet d'évacuer le trop plein (photo 11).



Photo 11: *Source aménagée à Koutagou (Boukombé)*

On observe en avant plan la margelle dallée avec un sceau servant à puiser de l'eau, sur la dalle à côté du couvercle.

Source : Cliché Idieti, 2004.

5-1-2-2- Réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau,

La réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau est une stratégie très précaire. Elle consiste à creuser un trou au bord d'un cours d'eau en espérant récupérer de l'eau restante dans les couches de sous-sols. La photo 12 en montre un exemple.



Photo 12: *Trou d'eau à Kontchougou (Boukombé)*

Observez une femme entrain de glaner de l'eau de ce trou. Ce trou d'eau est situé au bord d'un ruisseau déjà asséché.

Source : Cliché Idieti, 2004.

Elle illustre une femme qui glane de l'eau de ce trou réalisé pour la circonstance. Ce trou d'eau est situé au bord d'un ruisseau déjà asséché.

5-1-2-3- Creusement de puits et/ou forage équipé de pompe

La réalisation de puits et/ou de forages équipés de pompes est la stratégie la plus connue et adoptée partout dans le monde pour remédier à la contrainte de manque d'eau. Dans le bassin versant de la Pendjari les populations adoptent cette stratégie dans la mesure du possible. Elles creusent un puits ou réalisent un forage équipé d'une pompe à motricité humaine, selon la possibilité qu'offre la nature du substratum géologique.

Dans l'HER de l'Atacora, les roches dures et la profondeur des nappes aquifères (60 à 80 m) ne favorise pas des puits mais plutôt des forages. Dans l'HER de Gourma, la nature du substratum géologique est favorable aussi bien aux puits qu'aux forages. On y rencontre des puits traditionnels ou modernes et des forages équipés de pompes à motricité manuelle.

5-1-2-4- Réalisation des surcreusements ou des barrages

C'est une stratégie d'adaptation à la contrainte du manque d'eau d'abreuvement des animaux, en l'occurrence le cheptel. Ils servent également à irriguer les cultures maraîchères de contre saison. Ces infrastructures sont réalisée sur l'itinéraire d'un cours d'eau, à un niveau le plus souvent exutoire d'un certain nombre de sous-affluents. On les rencontre aussi bien dans l'HER de l'Atacora entre les chaînons que dans l'HER de Gourma (photos13 et 14).



Photo 13 : *Barrage de Tchakalakou (à Toukountouna) ; HER de l'Atacora*

Source : Clichés Idiéti, 2010



Photo 14 : *Surcreusement à Dassari (Matéri) ; HER de Gourma*

Source : Clichés Idiéti, 2010

❖ Outre les stratégies d'adaptation à la contrainte de maque d'eau, les populations dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari adoptent des stratégies de protection et d'assainissement des ressources en eau. En effet, les puits et forages réalisés à leur profit sont clôturés et les alentours sont régulièrement nettoyés. Il est défendu de faire la lessive à proximité d'un puits ou d'une pompe, de couper les arbres autour des mares aménagées.

5-1-3- Adaptation aux contraintes pédo-géologiques

Face aux contraintes liées à la nature et à la fertilité des sols associées aux aléas climatiques, les populations développent des stratégies de maximisation de la productivité agricole. En effet ce sont des stratégies liées aux pratiques culturales qui ont été étudiées par Natta (1999), Gnitona (2000), Idieti (2004) et Ouorou Barre (2007).

5-1-3-1- Adoption de nouvelles variétés de cultures

Chaise *et al.* (2005) disaient qu' « il va falloir adapter les types de culture aux nouveaux climats et ainsi abandonner certaines cultures au profit de nouvelles ». Cette stratégie est commune aux deux HER du bassin versant de la Pendjari. En effet, à cause des sécheresses répétées et de la diminution de la durée de la saison pluvieuse, les paysans du bassin versant béninois de la Pendjari ont préféré adopter des cultures à cycle court. "Le maïs à cycle court

de 75 jours a pris de l'ampleur devant celui de 90 jours et 120 jours, de même que l'arachide à cycle court." (Ouorou Barre, 2007). Ainsi, il en découle un abandon de certaines variétés de cultures au profit de nouvelles. Les populations témoignent l'abandon des cultures telles que : le petit mil appelé "*Ignari*" en Gulmantché et "*Nara*" en Biali, une variété de voandzou appelé "*Itchaksini*" en Gulmantché, le maïs jaune (maïs africain qui existait avant l'arrivée du maïs blanc de l'Amérique), une espèce d'igname appelé "*Nkantanyouana*" en Goulmatché et « Bounihou » en biali qui ressemble à la pomme de terre, le sésame, une espèce d'arachide de grosse taille et une autre longue et rouge, le fonio, une espèce de haricot à plusieurs couleurs dénommé « *issantoun* » en Ditammari.

5-1-3-2- Augmentation des emblavures

Face à l'augmentation des besoins, à la variabilité climatique ne donnant aucune assurance de sécurité alimentaire ajoutée à la baisse des rendements agricoles, les paysans du bassin versant de la Pendjari n'ont comme premier réflexe que l'augmentation des emblavures dans le but d'accroitre les rendements agricoles. Cette stratégie est également commune aux deux HER du bassin versant de la Pendjari.

5-1-3-3- Semis échelonné et semis répété

Le semis échelonné consiste à semer la même culture sur deux parcelles à des dates différentes (Photo 15). Cette pratique permet aux paysans en cas de rupture de pluie que l'une des cultures corresponde au rythme pluviométrique.



Photo 15: *Champ de maïs en semis échelonné à Tiélé (Tanguiéta)*
En arrière-plan, s'observe les plants de maïs plus grands et en avant-plan, les plants plus petits. Source : Cliché IDIETI, août 2010.

Quant au semis répété, il consiste à semer plusieurs fois la même culture sur les mêmes parcelles au cours de la saison agricole. D'après 58 % des paysans, il permet de faire des 'resemis' c'est-à-dire procéder au remplacement des plants fanés par l'insuffisance hydrique consécutive à une rupture pluviométrique. (Ouorou Barre, 2007).

5-1-3-4- Association des cultures

Dans les champs des paysans du bassin versant de la Pendjari, dans les deux HER, il est très rare de trouver une seule culture. Ils associent le plus souvent plusieurs cultures sur une parcelle. Le sorgho par exemple est cultivé avec le niébé et l'arachide ou le voandzou ; l'igname avec le maïs et/ou le gombo ou avec le riz (Photos 16). Ces associations ont pour but de maximiser la production sur une même parcelle et d'enrichir le sol. Elles tiennent compte de la durée du cycle de vie des cultures. Par exemple, les feuilles de niébé et de maïs qui arrivent à maturité pendant la saison pluvieuse, pourrissent et se transforment en humus pour nourrir les autres plantes ; les feuilles des légumineuses couvrent le sol, amortissent l'effet des gouttes de pluie et diminue la vitesse de l'eau de ruissellement.



Photo 16: *Champ d'igname en association avec le riz et le gombo à Tiélé (Tanguiéta)*

Sur les buttes se trouvent les plants d'igname et de gombo tandis que les plants de riz se trouvent dans les sillons. Le paysan enlève la mauvaise herbe qui se trouve entre les plants du riz.

Source : Cliché IDIETI, juin 2009

5-1-3-5- Utilisation d'engrais

Dans l'optique de faire face aux faibles rendements agricoles engendrés par la variabilité pluviométrique et la baisse de fertilité des sols, les paysans utilisent des engrais chimiques. Ousamene (2002) montre que, même quand les précipitations sont faibles, si un agriculteur utilise deux (2) grammes de phosphate d'ammonium ou six (6) de NPK en formule (15/15/15) dans les buttes de semis, les rendements sont doublés. Les agriculteurs peuvent donc augmenter leur rendement en utilisant seulement vingt (20) kilogrammes de phosphates d'ammonium en formule 18460 ou soixante (60) kilogrammes de phosphates d'ammonium de NPK en formule (15/15/15) par l'hectare. Ouorou Barre (2007) constate que cela a entraîné les agriculteurs à former des groupes pour acheter ensemble des intrants agricoles au début de la saison.

5-1-4- Stratégies de contrôle et de maîtrise de l'eau de ruissellement

Le relief à forte pente et la nature du terrain dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari ne favorisent pas partout la conservation des eaux et des sols. Dès que la pluviométrie devient insuffisante, il est difficile de mettre en place un champ de culture ou une couverture végétale. Dès lors, les populations ont développé des techniques culturales permettant une récupération du sol et une maîtrise de l'eau de ruissellement. Il s'agit entre autres : du dispositif en nids d'abeilles, des cordons pierreux ou cultures en terrasses, du billonnage cloisonné, des billons perpendiculaires et parallèles à la pente, des canaux d'évacuation et de retenue d'eau.

5-1-4-1- Dispositif en nids d'abeilles

Cette stratégie est pratiquée uniquement sur des terrains à forte proportion de cailloux et de graviers. Elle est observée dans l'HER de l'Atacora. La technique consiste à amonceler de la terre en disposant les pierres de manière circulaire ou rectangulaire, de façon à former au centre des petites cuvettes qui piègent l'eau (planche 1, photos 17). L'installation intervient après les premières pluies au moment du labour. Les cuvettes formées piègent l'eau en favorisant son infiltration.

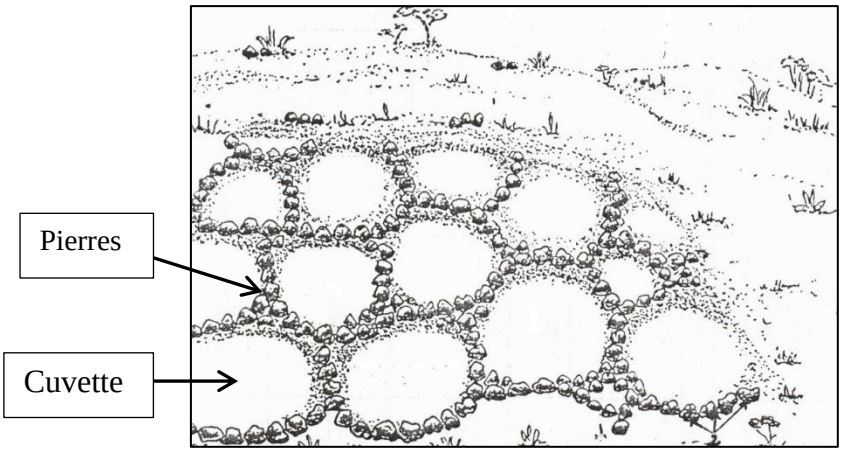


Planche 1: *Schéma du dispositif en nids d'abeilles*
Source : PGRN (1995), cité par Gnitona (2000)



Photo 17 : *Nids d'abeilles à Takpanta (Boukombé)*
Observez les rangées de pierres en forme de nids d'abeilles. Les cultures sont plantées à l'intérieur des rangées.
Source : Natta, 1999

5-1-4-2- Technique de cordons pierreux ou cultures en terrasses

A l'instar de la technique en nids d'abeilles, la stratégie de cordons pierreux est pratiquée sur des terrains à forte proportion de cailloux dans l'HER de l'Atacora. Elle consiste à amonceler les pierres perpendiculairement à la pente du terrain de façon à former des cordons pierreux et des bandes juxtaposées (planche 2 et photo 18). De petits billons sont ensuite confectionnés

sur ces terrasses pour les cultures. La réalisation des terrasses de cultures permet non seulement d'accéder au sol mais aussi à l'eau pluviale de s'infiltrer et alimenter les cultures.

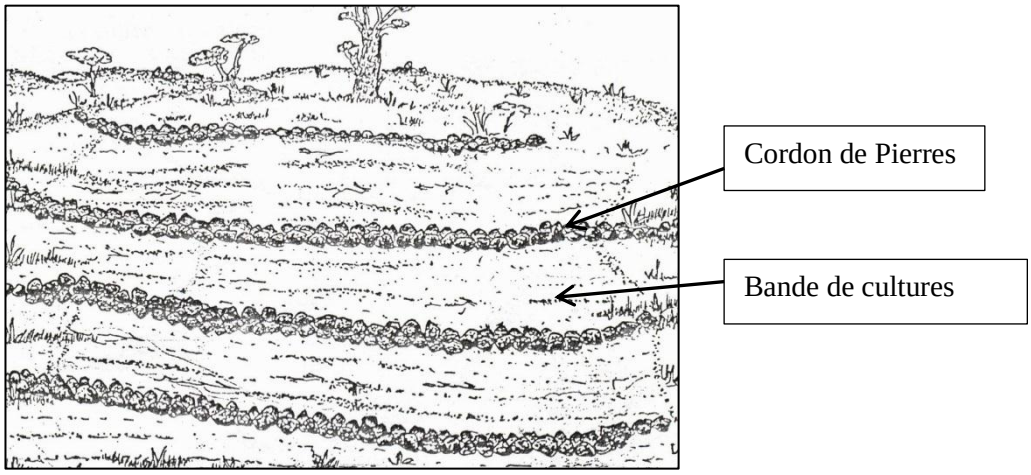


Planche 2 : *Schéma de la technique de cordons pierreux.*
Source : PGRN (1995)



Photo 18 : *Cordons pierreux ou casiers de cultures à Kounawhongou (Boukombé)*

Observez les cordons de pierres et la succession des bandes de cultures.
Source : Cliché IDIETI, 2004.

5-1-4-3- Billonnage cloisonné

Cette stratégie est réalisée dans l'HER de Gourma sur des sols profonds et plus ou moins argileux. Les cloisons sont confectionnées perpendiculairement à la pente afin de permettre à l'eau de pluie collectée dans les sillons de s'infiltrer pour alimenter les cultures. Les cloisons

sont en fait des gros billons dont la hauteur est légèrement supérieure à celle des autres (planche 3 et photo 19).

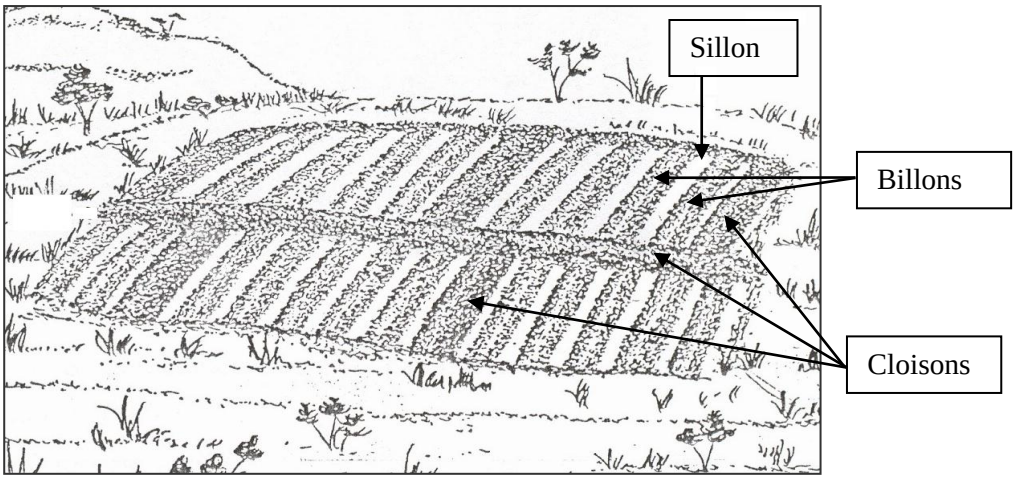


Planche 3 : *Schéma du Billonnage cloisonné*
Source : PGRN (1995)

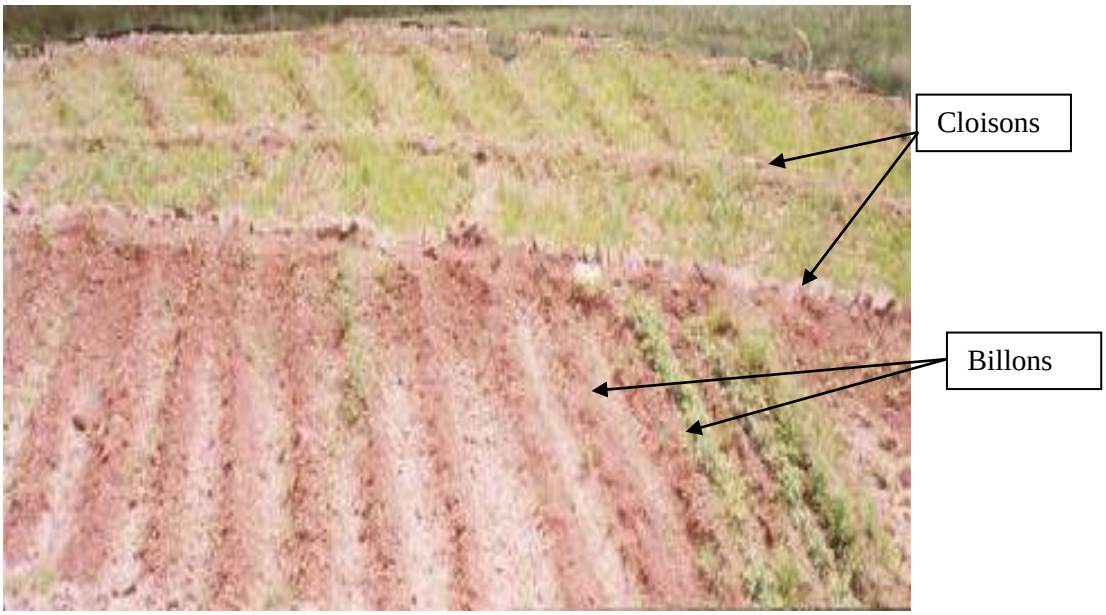


Photo 19 : *Billonnage cloisonné à Tchapéta (Boukombé)*
Source : Cliché Idiéti, 2004

L'installation a lieu en début de saison pluvieuse. Le dispositif reste en place sur une saison de culture. A chaque nouvelle saison, il faut refaire les billons. Elle permet selon les paysans de ralentir le ruissellement de l'eau en favorisant le dépôt d'éléments fertilisant le sol. De ce fait, l'eau de pluie stagne dans les billons et s'infiltrant progressivement pour alimenter les cultures.

5-1-4-4- Billons perpendiculaires et parallèles à la pente

C'est une stratégie commune aux deux hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. En effet, lorsque la pente est faible ou nulle, les paysans font des billons qui sont parfois gros ou minces. Ils sont disposés sous forme de "T" (photo 20). Dans le premier cas, les billons sont orientés dans le sens perpendiculaire à la pente. Dans le second cas, les billons sont parallèles à la pente. Ici, deux aspects sont pris en compte par les paysans : la taille des billons et leur orientation.



Photo 20 : *Billonnage perpendiculaire et parallèle à la pente à Porga*

Observez le sens de billonnage suivant les pentes du terrain. A gauche se trouve un sillon principal qui sert à distribuer de l'eau dans des sillons secondaires perpendiculaires à la pente. Au centre, on observe un billon principal parallèle également à la pente qui sert à bloquer le passage de l'eau venant des sillons secondaires mentionnés ci-dessus. Ce billon est adjacent à un autre sillon principal identique à celui observé à gauche.
Source : Cliché Idieti, 2009.

En effet, lorsque les billons sont perpendiculaires à la pente et minces, le paysan prévoit ainsi une éventuelle irrégularité des pluies au cours de la saison agricole. Autrement dit, cette disposition permet à l'eau précipitée si infime soit-elle de stagner dans les sillons en s'infiltrant progressivement. Ceci entraîne du coup une bonne alimentation et une productivité certaine des cultures. De même, la réalisation des billons minces est une garantie supplémentaire pour les cultures car leurs racines arrivent à atteindre facilement les réserves d'eau.

La disposition des billons parallèles à la pente favorise en cas de pluviométrie exceptionnelle, l'évacuation des excès d'eau. Dans ce cas les billons sont gros. La raison évoquée par les paysans est qu'elle évite le pourrissement des racines/tubercules et la destruction des billons en cas d'inondation.

Sur les versants ou les flancs de montagnes moins pierreux mais caillouteux, les billons sont tracés suivant les courbes de niveau, ce sont les billons isohypses ; et les pierres sont alignées suivant la pente (photo 21).



Photo 21 : *Billons isohypses sur un flanc d'une colline à Koutagou (Boukombé)*

Observez le sens de billonnage et la succession des billons perpendiculaires à la pente sous forme de courbes de niveau.
Cliché : Cliché IDIETI, 2004.

Dans les zones sujettes à l'inondation comme les abords de rivières, les paysans font le buttage. Ici, la terre est amoncelée en buttes contiguës disposées perpendiculairement ou parallèlement au sens de la pente. L'eau est piégée entre les sillons des buttes. En formant des cuvettes, une partie de l'eau s'infiltre pour alimenter la nappe phréatique. L'eau restante permet aux buttes de garder longtemps leur humidité en favorisant une bonne alimentation des cultures.

5-1-4-5- Canaux d'évacuation et de retenue d'eau

Il s'agit d'une pratique culturale qui consiste à réaliser une suite de billons disposés sous fourme de deux "T". Les pieds des billons constituent des canaux d'évacuation des eaux. Ces canaux sont orientés selon le sens de la pente. En aval du canal, le paysan construit un gros billon dont la hauteur est supérieure aux autres billons. La réalisation des canaux d'évacuation suivant la dénivellation du terrain vise essentiellement deux objectifs: (1) la disposition des billons et leur taille (légèrement élevée) permet en cas de déficit pluviométrique la stagnation des eaux tombées. Les cultures profitent ainsi de cette humidité pour croître normalement. (2) Les billons et les canaux d'évacuation favorisent une meilleure circulation des excès d'eau en cas de pluviométrie exceptionnelle.

Cette pratique, rencontrée plus souvent dans l'HER de Gourma, démontre que les paysans sont très prévoyants vis-à-vis des fluctuations qui surviennent au cours de la saison agricole.

En somme, les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les populations du bassin versant béninois de la Pendjari sont relativement efficaces. Elles ont été initiées dans une vision de satisfaire à leurs besoins alimentaires. L'application d'une stratégie endogène est inhérente à une contrainte, le paysan habitant le milieu n'a donc pas le choix sauf en cas d'insuffisance de moyens nécessaire dans certains cas. Il est difficile d'évaluer la proportion des ménages agricoles qui ont recours à chacune des stratégies. En revanche le taux d'application de l'ensemble des stratégies a été évalué par hydro-écorégion. En effet, sur 23 différentes stratégies endogènes, 20 sont appliquées dans l'HER de l'Atacora soit un taux d'application de 86,9% et, 19 dans l'HER de Gourma soit 82,6% du taux d'application. Le tableau XVIII présente le récapitulatif de l'application des différents stratégies endogènes dans les deux HER de niveau 1 du bassin versant de la Pendjari.

Tableau XVIII : Application des stratégies endogènes dans les HER du bassin versant de la Pendjari

N°	Stratégies d'adaptation aux contraintes	Application des stratégies	
		HER de l'Atacora	**HER de Gourma**
1.	Se réchauffer autour du feu de bois le matin et la nuit pendant l'harmattan	**x**	**x**
2.	Porter des habits contre le froid et la déshydratation pendant l'harmattan	**x**	**x**
3.	Se laver fréquemment pour atténuer la chaleur en période de forte chaleur	**x**	**x**
4.	S'abriter sous des arbres ombragés en période de forte chaleur	**x**	**x**
5.	Portent les habits contre le froid en période de pluie	**x**	**x**
6.	Labours de grosses butes ou de gros billons perpendiculairement au sens du ruissellement afin résister à l'inondation et à l'érosion	**x**	**x**
7.	Labour de petits billons pour contenir le peu de pluie en période de sécheresse	**x**	**x**
8.	Adoption de nouvelles variétés de cultures	**x**	**x**
9.	Augmentation des emblavures	**x**	**x**
10.	Semis échelonné	**x**	**x**
11.	Semis répété	**x**	**x**
12.	Association des cultures	**x**	**x**
13.	Utilisation d'engrais	**x**	**x**
14.	Aménagement des mares et sources	**x**	
15.	Réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau	**x**	**x**
16.	Réalisation de forages et/ou de puits	**x**	**x**
17.	Réalisation des surcreusements ou des barrages		**x**
18.	Dispositif en nids d'abeilles	x	
19.	Cordons pierreux ou cultures en terrasses	x	
20.	Billonnage cloisonné		x
21.	Billons isohypses (suivant les courbes de niveau)	x	
22.	Billons perpendiculaires et parallèles à la pente	x	x
23.	Canaux d'évacuation et de retenue d'eau		x
	Taux d'application de l'ensemble des stratégies	**86,9%**	**82,6%**

Bien qu'étant des stratégies à court, moyen et long termes, elles sont peu orientées vers la vision de conservation durable des écosystèmes naturels.

En revanche, des institutions foisonnent dans le bassin versant de la Pendjari dans le cadre de la conservation, la protection et la gestion durables des écosystèmes naturels.

5-2- Mesures réglementaires et institutionnelles de la gestion durable des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari

Ce sont des stratégies exogènes ou modernes dans l'optique d'un développement durable qui permet d'atteindre simultanément les objectifs d'adaptation aux variabilités climatiques et de manière à diminuer la pression sur les ressources, à améliorer la gestion des ressources des écosystèmes naturels et à renforcer la capacité d'adaptation. Il s'agit des textes réglementaires et des institutions agissant dans la perspective de la durabilité des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari.

5-2-1- Textes réglementaires de la gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari

Depuis le début des années 1990, sous l'impulsion des travaux de la Conférence Nationale Souveraine, une politique appréciable de gestion durable des ressources naturelles s'est, petit à petit, instaurée avec la création d'un ministère de l'environnement au Bénin. Dès lors, plusieurs stratégies et orientations dans le sens de la protection de la nature au Bénin furent adoptées. Ces orientations, quoique convergentes, sont dispersées dans plusieurs documents de référence. Il s'agit des lois, décrets et arrêtés concernant la conservation des ressources naturelles en général, de la biodiversité, et la sauvegarde de la faune et la flore au Bénin.

Sur le plan documents d'orientation et de stratégie, il faut noter :

- les documents de base des différents projets successifs d'aménagement des parcs nationaux ;
- la Lettre de politique de développement rural (1991) réaffirmée par la table ronde sur le secteur rural (1995) et reprise par la lettre de déclaration de politique de développement rural (1999) ;
- le Plan d'Action Environnemental (1993) ;
- l'Agenda 21 national (1997) ;
- la stratégie nationale de conservation des aires protégées (1995) ;
- le rapport national sur la diversité biologique (1998) ;
- le programme biodiversité et gestion durable de l'environnement du Centre Béninois pour le Développement Durable (CBDD) ;
- la politique et stratégie pour le développement touristique au Bénin ;
- le plan directeur des parcs nationaux de la Pendjari et du W ;

Au plan législatif et réglementaire, il faut retenir :

- la loi 87-013 du 21/09/87, portant réglementation de la vaine pâture, de la garde des animaux domestiques et de la transhumance ;
- la loi 87-014 du 21/09/87, portant réglementation de la protection de la nature et de l'exercice de la chasse en République du Bénin ;
- la loi 93-009 du 02/07/93 portant régime des forêts en République du Bénin,
- le Décret 90-366 du 04/12/90, portant modalités d'application de la loi 87-014
- le Décret 94-64 du 21/03/94, portant classement du Parc National de la Pendjari en Réserve de la Biosphère ;
- l'Arrêté n° 429/MDRAC/MCAT/MF du 27/12/90, portant fixation des redevances et taxes perçues en application des règlements de la chasse et du tourisme de vision dans les zones cynégétiques et zones dites libres ;
- la loi n° 93-021 du 02 Décembre 1992 (JORB, 1992), portant autorisation de ratification de la conservation sur la Diversité Biologique signée le 13 Juin à Rio de Janeiro ;
- l'Arrêté n° 783 MDR/DCAB/CC/CP du 30 Décembre 1992 (JORB, 1992), portant création d'un Comité de Coordination pour le Projet de Protection des végétaux ;
- l'Arrêté n° 601/MDR/DC/DFRN/SA du 08 Août 1993 (JORB, 1993), portant application en République du Bénin de la Convention sur le Commerce International des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) ;
- l'Arrêté n° 144/MISAT/DC/C-CAB/COMT du 07 octobre 1994 (JORB, 1994), portant salubrité, aménagement d'espèces verts et implantation d'essences dans les abords immédiats des habitations, des institutions de l'Etat, des établissements industriels et commerciaux et des places publiques
- l'Arrêté n° 29 MEN/DC/AB/C-CAB du Novembre 1994 (JORB, 1995), portant attribution de la rénovation des jardins botaniques et zoologiques du Campus Universitaire d'Abomey-Calavi ;
- l'Arrêté n° 128 MDR/DC/CC/CP du 07mars 1995 (JORB, 1995), Interministériel relatif au contrôle phytosanitaire des végétaux et des produits végétaux, à l'importation et à l'exportation ;
- l'Arrêté n° 226 MDR/DC/CC/DFRN/SA du 20 avril 1995 (MDR), portant création du Comité de suivi et de mise en œuvre de la politique Forestière du Bénin ;

- l'Arrêté n° 78/MDR/DC/CC/CP du 15 juillet 1995 (MDR), portant création de la Commission des plantes textiles et des plantes stimulantes du Comité National de la Recherche Agricole ;
- l'Arrêté n° 694 M/DR/DC/CC/CP du 30 décembre 1994 (MDR, V/ Gestion des sols) ; portant attribution, organisation et fonctionnement du Centre National de Télédétection et de surveillance du Couvert Forestier ;
- l'Arrêté n° 023 /MEHU/DC/SG/DE/ CQNSE/SA du 18 septembre 1997 (MEHU) portant création, composition, attribution et fonctionnement du comité National chargé de la mise en œuvre de la Convention sur la Diversité Biologique et de son Secrétariat permanent.

En ce qui concerne le cadre global international, il faudra signaler l'entrée en vigueur au Bénin de conventions et accords dont notamment :

- l'Accord de lutte anti-braconnage entre le Bénin et le Burkina-Faso (1984) ;
- la Convention internationale pour la conservation des thonidés de l'Atlantique (1986) ;
- la Convention sur la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel (1972) ;
- Convention sur la Conservation des Espèces Migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) (1999) ;
- Convention sur le commerce International des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) (1982) ;
- la Convention sur la Diversité biologique (CBD) (1992) ;
- la Convention cadre sur les changements climatiques (1992) ;
- la Convention sur la lutte contre la désertification (1994) ;

Le cadre institutionnel quant à lui a été marqué par la création et l'animation de plusieurs services dispersées dans différents ministères. Il s'agit notamment :

- de l'ensemble des services techniques impliqués dans la gestion de la faune et des aires protégées (administration forestière, ARDET et autres) ;
- de l'Agence Béninoise de l'Environnement (ABE) ;
- du Centre National de Gestion des Réserves de faune (CENAGREF) ;
- du Centre Béninois pour le Développement Durable (CBDD) ;

A l'examen de ces textes, on découvre la volonté du législateur de protéger et de conserver le patrimoine biologique, de le développer et de l'exploiter pour satisfaire les besoins de la population. L'approche ayant prévalu avant la conférence Rio est basée sur la répression notamment dans les aires classées. Elle n'a pas donné les résultats escomptés ; c'est du moins ce que révèle la tendance à la dégradation des écosystèmes forestiers. Cette situation s'explique à la fois par l'opposition larvée des populations confrontées à une misère sans cesse grandissante et à l'insuffisance des moyens requis pour appliquer les mesures envisagées.

5-2-2- Institution de la gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari

Le droit à un environnement sain est un des droits de l'homme auquel la République du Bénin a souscrit. Cette préoccupation a été prise en compte dans sa nouvelle constitution qui stipule en son article 27 que « toute personne a droit à un environnement sain, satisfaisant et durable et a le droit de le défendre. L'Etat veille à la protection de l'environnement. » La prise en compte de cette préoccupation se traduit par la mise en œuvre de plusieurs actions concrètes à savoir :

- *La création en juillet 1991 d'un ministère spécifique chargé de l'Environnement.*

Suivant les dispositions du décret n° 92-17 du 18 juillet 1992, ce ministère est chargé de "l'assainissement du territoire, de la promotion et du contrôle de la gestion des ressources naturelles renouvelables".

- *La mise en place d'un cadre réglementaire pour la gestion de l'environnement et pour le développement.*

Ce cadre comprend :
- le Plan d'Orientation National (PON) ;
- les codes de l'eau ;
- la loi-cadre sur l'Environnement ;
- le Code de l'Hygiène et de l'Assainissement ;
- le Plan d'Action Environnemental (PAE) ;
- l'Agenda 21 National ;
- les Plans Municipaux d'Actions Environnementales (PMAE) ;
- la Stratégie Nationale de Lutte contre la pollution atmosphérique ;

- le Document de Stratégie de croissance et de Réduction de la Pauvreté (DSCRP).

➢ *La création de structures concourant à la protection de l'environnement et au développement durable*

Il s'agit entre autres de l'Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE), de la Commission Nationale pour le Développement Durable (CNDD) et des agences d'exécution comme l'AGETUR et la SERHAU-SA.

➢ *L'émergence des acteurs de la société civile*

Les acteurs non gouvernementaux (ONG, organisations communautaires de base et collectivités locales) s'organisent et cherchent à s'impliquer de plus en plus dans la gestion et la protection environnementale. Le tableau XVI Présente les structures non gouvernementales (SNG) intervenant dans la gestion durable des ressources naturelles dans le bassin de la Pendjari

Tableau XIX : Structures Non Gouvernementales (SNG) intervenant dans la gestion durable des ressources naturelles dans le bassin de la Pendjari.

SNG	Domaine d'intervention
APDD	Hygiène, assainissement, éducation et agriculture durable et Activités Génératrices de Revenus (AGR)
APAE	Agriculture, éducation
LISA	Sécurité alimentaire, renforcement des capacités
SNV	renforcement des capacités
BUPDOS	Agriculture, santé, environnement, alphabétisation, infrastructure
CRS	Education
PAM	Sécurité alimentaire
PADPPA	Pêche artisanale
PADEAR	Eau et assainissement
PROTOS	Eau et assainissement
Aide et Action	Education
ODES	Santé, micro finance agriculture nutrition
JURA Afrique	Agriculture, santé, environnement alphabétisation, enfance et femme
TITOUA	Alphabétisation, santé, nutrition
ADI	Santé, microfinance et activités génératrices de revenus
BODARIMA	Santé, environnement
ALPHA et OMEGA/ Environnement	Agriculture, environnement et planification du développement
AVIGREF	Faune

Source : *PDC + Enquêtes de terrain (2009)*

➢ *La mise en œuvre de nombreux programmes et/ou projets environnementaux :*

- Le projet UNSO de plantation d'arbres à buts multiples pour améliorer les conditions de vie des populations rurales en mettant un frein aux phénomènes de dégradation de l'environnement (surtout du couvert végétal) et à l'avancée du désert. Il intervient par la création de pépinières et l'appui au reboisement en fournissant aux populations rurales des essences fourragères, des bois de service, d'œuvre et de chauffage.

- Le Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) pour encourager la gestion des systèmes de production durables et des ressources naturelles par les communautés rurales organisées.

- Le Projet de Conservation et de Gestion des Parcs Nationaux pour promouvoir une meilleure gestion du patrimoine national de diversité biologique dans les parcs nationaux et les zones de chasse avec une forte implication des communautés à la base.

- Le Projet de Gestion des Forêts et des Terroirs Riverains (PGFTR) pour développer le potentiel forestier des communautés à la base et lutter contre la désertification. Ce projet émane des acquis du volet Aménagement Forestier du Projet de Gestion des Ressources Naturelles.

- Le projet Hydraulique Villageoise pour maximiser l'impact de la durabilité des services hydrauliques et de l'approvisionnement en eau en milieu rural en intégrant à l'aspect « offre de l'eau », un volet "assainissement" et un volet "Information-Education-Communication" qui font de ce projet issu du Programme "Diversité biologique" un projet intégré.

- Le programme d'Aménagement des Zones Humides (PAZH) pour promouvoir le développement durable à travers la conservation, la réhabilitation et la mise en valeur des écosystèmes humides.

- Le projet ESPRIT-EDULINK pour aider les décideurs à connaître les potentialités et les menaces sur les ressources naturelles et les populations des bassins du Nord Bénin à prendre conscience des impacts de leurs diverses activités sur les ressources en eau et les écosystèmes naturels ; ce qui contribuera à un changement de comportements des populations pour une utilisation et une gestion durables des écosystèmes naturels.

- Etc.

L'analyse des projets exécutés ou en cours d'exécution sus-indiqués fait ressortir qu'ils ont trait à des domaines très variés. Dans le cadre de la présente étude, une recherche sur l'implication des populations dans les actions de ces différents projets et organisations n'a pas été faite pour évaluer leur efficacité et leur impact sur la protection de l'environnement.

Cependant, force est de constater que les résultats obtenus n'ont pu contribuer davantage à inverser les tendances lourdes observées au niveau de la dégradation des écosystèmes naturels.

Conclusion partielle

Au terme de l'étude des stratégies d'adaptation à la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari, il faut en retenir deux types : les stratégies endogènes et les mesures institutionnelles et réglementaires. En ce qui concerne les stratégies endogènes, les stratégies d'adaptation aux contraintes climatiques et hydriques visent à protéger et conserver les ressources en eau. Quant aux stratégies d'adaptation aux contraintes pédo-géologiques et topographiques, elles visent à améliorer la productivité agricole pendant que les mesures de contrôle et de maîtrise d'eau du ruissellement concourent à la lutte anti-érosive et à la conservation des sols.

Les mesures institutionnelles et réglementaires de la gestion durable des écosystèmes naturels regroupent l'ensemble des textes et conventions en vigueur en République du Bénin et sur le plan international en matière de protection, de conservation et de gestion de l'environnement et des ressources naturelles. Il s'agit des documents d'orientation et de stratégie, des lois, des décrets et des arrêtés, et les conventions et accords internationaux. Sur le plan institutionnel, il s'agit de la création des structures concourant à la protection de l'environnement et au développement durable et l'émergence des acteurs de la société civile dans le domaine de la protection durable des ressources naturelles et de la biodiversité en particulier sans oublier la mise en œuvre de nombreux programmes et/ou projets environnementaux.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la recherche sur la gestion durable des ressources naturelles. Elle est une contribution à la compréhension du fonctionnement écologique du bassin versant de la Pendjari. Ayant pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari, l'étude s'est basée sur les facteurs primaires du fonctionnement physique et écologique des écosystèmes d'eau de surface pour identifier les hydro-écorégions du bassin versant de la pendjari. La méthode cartographique a été utilisée pour l'identification et la cartographie des hydro-écorégions et les méthodes d'analyse statistique et comparative pour l'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels.

A l'issue de ces démarches, deux hydro-écorégions de niveau 1 (l'HER de Gourma et l'HER de l'Atacora) ont été identifiées et cartographiées à partir des critères du relief, de la géologie et du climat. Les déterminants qui sont à la base de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari se regroupent en quatre catégories : les déterminants hydro-climatiques ; les déterminants géophysiques, les déterminants socio-culturels et les déterminants économiques.

De 1972 à 2006, la dynamique des écosystèmes naturels est marquée par la dégradation des unités d'occupation du sol (les savanes saxicoles, arborées et arbustives et les forêts claires/svanes boisées), qui occupent le plus d'espace dans les hydro-écorégion, au profit des mosaïques de cultures et jachères et des agglomérations. Les populations du bassin versant de la Pendjari ont développé des stratégies d'adaptation sur la base de leurs connaissances, leurs savoirs et leur savoir-faire. On en a distingué des stratégies endogènes et des mesures institutionnelles et réglementaires. Les stratégies endogènes sont les mesures d'adaptation aux contraintes climatiques, pédo-géologiques et topographiques. Les mesures institutionnelles et réglementaires sont les institutions, les textes etles organismes à caracères administratif qui concernent la gestion et la conservation des ressources naturelles au Bénin.

Cependant, les résultats de cette étude sont considérablement limités par les données. En effet,

- les deux hydro-écorégions de niveau 1 identifiées sont distinctement différentes sur des bases topographiques et relativement différentes sur des bases géologiques. Les paramètres du critère du climat (Précipitations et températures) ne permettent pas de distinguer les deux hydro-écorégions en raison de l'inexistence des données nécessaires. Les données de températures , limitées à la seule station de Natitingou,

n'ont pas permis de présenter les caractéristiques réelles de la variation des températures dans les HER identifiées.

- les données hydrologiques utilisées sont limitées à la seule station de Porga. Cette insuffisance est due à l'inexistence de stations hydrométriques sur d'autres exutoires de la rivière Pendjari et ses affluents. Cela n'a pas permis de présenter les caractéristiques hydrologiques réelles des HER identifiées.

Au terme de cette étude, nous retenons qu'il reste encore plusieurs inconnues qui limitent l'identification des hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari :

- l'identification et la cartographie des hydro-écorégions de niveau supérieur (HER-2, HER-3, etc.), nécessite outre les paramètres géologiques, topographiques et climatiques, la considération des critères tels que la morphologie des cours d'eau, leurs profondeurs, l'hydrochimie, la sédimentologie, le débit écologique, etc.
- les données écologiques sont constituées de l'inventaire de zoobenthos et de phytobenthos, de l'inventaire de la faune et la flore des zones riveraines des rivières, des données hydromorphologiques (morphologies et profondeurs des rivières). Lorsqu'il n'y a pas ou très peu de données comme c'est cas de cette étude, il y a lieu de faire des observations pendant deux ans au moins afin de disposer des données nécessaires pour apprécier l'impact de déficit hydrologique sur les écosystèmes.

Nonobstant tout ce qui précède, il est important d'envisager des perspectives permettant une utilisation et une gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari.

A cet effet, nous proposons à l'endroit des gestionnaires des ressources naturelles et des scientifiques :

✓ l'identification des exutoires de référence dans les HER où les stations hydrométriques devront être installées pour des mesures de données hydrologiques,

✓ le renforcement du poste pluviométrique de Porga par la fonction de mesure des températures, ou la création d'une station climatologique au niveau de l'hôtel Pendjari.

✓ la réalisation d'une étude d'identification de la biodiversité (faune et flore) de référence dans chaque HER. Cela permettrait de définir un état de référence des écosystèmes naturels, de faire le choix des objectifs de gestion et de considérer les HER comme entités spatiales de gestion.

✓ le développement d'une synergie d'action entre les gestionnaires/décideurs. Les actions d'un agronome dans un milieu donné par exemple devront être connues par le vétérinaire, le botaniste, etc. et vis-versa.

A l'endroit des communautés paysannes utilisatrices des ressources naturelles, bien que chacun soit sensible à ses intérêts, il est important de prendre conscience des impacts de leurs diverses activités d'exploitation des terres sur les ressources en eau et les écosystèmes naturels. C'est pourquoi il est urgent :

- ✓ d'adopter l'utilisation des fertilisants organiques en remplacement des engrais chimiques, pour la restauration des terres. Cela est possible si les agriculteurs intègrent leurs activités dans l'approche filière en synergie avec les éleveurs ;
- ✓ d'adopter le coton biologique comme une des cultures de rente, en remplacement du coton conventionnel ;
- ✓ de connaitre et respecter la réglementation en vigueur en matière de pêche et de chasse.

Ce travail sur les hydro-écorégion n'est que précurseur. Dans nos prochaines études, il sera question d'approfondir l'identification, la délimitation et la cartographie des HER de niveau supérieur (HER-2, HER-3, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

(*Norme utilisée : Vancouver*)

1- ADAM, K.S., BOKO, M., (1983) ; Le Bénin. EDICEF, Paris. 98 pages.

2- AELB, (2004) ; État des lieux du bassin Loire-Bretagne. Vol. 1 : Caractérisation du bassin et registre des zones protégées. Comité de bassin Loire-Bretagne, 245 pages.

3- AFFATON, P., (1987) ; Le bassin des Volta (Afrique de l'Ouest), une marge passive d'âge protozoïque supérieur, tectonisé ou panafricain (600 MA). Thèse de doctorat, Université d'AIX-Marseille III, Ed. ORSTOM, France, 480 pages.

4- AFFIAN, K., (1986) ; Incidence réciproque des structures océaniques et continentales sur l'évolution du domaine ouest africain (Golf de guinée et Côte d'Ivoire méridionale). Analyse morphostructurale. Thèse de doctorat en océanologie ; Université de Bordeau I ; 311 pages.

5- AFOUDA, F., (1990) ; L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu et la savane africaine. Thèse de doctorat nouveau régime, Paris IV, SORBONNE, 428 pages.

6- AGBOSSOU, E. K., OKOUNDE, J. E., (2000) ; Réalisation des études hydrologiques et aménagement de la réserve de biosphère du complexe de la Pendjari. Tome 1. PCGPN/CENAGREF/GTZ. 43 PAGES.

7- AGBOSSOU, E. K., OKOUNDE, J. E., (2001) ; Réalisation des études hydrologiques et aménagement de la réserve de biosphère du complexe de la Pendjari. Tome 2. PCGPN/CENAGREF/GTZ. 42 pages. + Annexes.

8- ALE, G., (1994) ; Gestion des ressources en eau au Bénin. Rapport de consultation, 41 pages.

9- ALLEN, T. H. F., STARR, T. B., (1982) ; Hierarchic : Perspectives for ecological complexity. Chicago : the University of Chicago Press. 310 pages.

10- AMOUSSOU, E. (2005) ; Variabilité hydroclimatique et dynamique des états de surface dans le bassin versant du Couffo. Mémoire de DEA, UAC/FLASH. 105 pages.

11- AMOUSSOU, E., (2010) ; Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie (CRC) CNRS – UMR. 315 pages.

12- ANDRIAMAHEFA, H., (1999) ; Les hydro-écorégions du bassin de la Loire. Morphologie, hydrologie, pressions anthropiques sur les cours d'eau et les bassins versants (volume1). Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet - Saint Etienne, Cemagref BEA/LHQ. 272 pages + annexes.

13- ARDOIN-BARDIN S., (2004) ; Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Montpellier, 240 pages.

14- AUF, (2003) ; Sécheresse. *Cahier d'études et de recherches francophones* ; Revue N°1, Vol. 14, 68 pages.

15- AZONTONDE, H. A., (1988) ; Conservation des sols et des eaux en République Populaire du Bénin. CENAP – ORSTOM, Cotonou, Bénin; 50 pages.

16- AZONTONDE, H. A., (1991) ; Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *In Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991)*. IAHS Publ. N°199, 10 pages.

17- BAILEY, R. G., (1976) ; Ecoregions of the United States. Map (1/7500000). Ogden, Utah. U.S. Dep Agr, Forest. Service ; Intermountain region.

18- BEAUCHAMP, J., (2001); L'eau et le sol. Univ. Picardie, 32 pages.

19- BENEVENT, E., (1924) ; Du rôle des montagnes dans la formation de la pluie, d'après les nouvelles théories norvégiennes. *In Revue de géographie alpine*, Tome 12, N°2, pp.173-187.

20- BETHEMONT, J., *et al.*, (1996) ; Une approche régionale de la typologie morphologique des cours d'eau : application de la méthode "morphorégions" au bassin de la Loire et perspectives pour le bassin du Rhône (France). *Revue de géographie de Lyon*, Vol.71, pp 311-322.

21- BLIVI, A. B., (1993) ; Géomorphologie et dynamique actuelle du littoral du golfe du Bénin, Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 3, 458 pages.

22- BOKO, M., (1988) ; Climats et communautés rurales au Bénin: rythmes climatiques et rythmes du développement. Thèse de Doctorat d'Etat, 2 Volumes, CRC, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 584 pages.

23- BOKO, M., (2005) : Méthodes et Techniques en Sciences Environnementales. Edition revue et corrigée, UAC /CIFRED, 305 pages.

24- BOKO, M., OGOUWALE, E., (2007) ; Eléments d'approche méthodologique en Géographie et sciences de l'environnement et structure de rédaction des travaux d'étude et de recherche. LECREDE, FLASH DGAT, UAC, 104 pages.

25- BOKONON-GANTA, B. E., *et al.*, (1990) ; Contraintes climatiques et croyances en Afrique tropicale : Essai d'ethnoclimatologie. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 3, PP 163-171.

26- BOULAIN, N., (2004) ; Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien. Thèse de doctorat, Université de paris VI, 171 pages.

27- BRADBEAR, N., (2010) ; Le rôle des abeilles dans le développement rural. Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles. *Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)*, Rome, 2010, 248 pages.

28- BROU, T. Y., (2005) ; Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités pédagogiques pour une HDR, Abidjan, 226 pages.

29- BRUNET R., *et al.*, (1992) ; Les mots de la géographie : Dictionnaire critique. Ed. RECLUS, Collection Dynamiques du Territoire, 470 pages.

30- Brunet-Moret Y., (1969) ; "Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie" *Cahiers ORSTOM série hydrologie*, Vol. 6, N° 3, PP. 3-100.

31- BRUNET-MORET Y., (1971) ; Etude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses, *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. VIII, n°4, 1971, pp.3-31.

32- BRUNET-MORET Y., (1979) ; Homogénéisation des précipitations. *Cahier de L'ORSTOM Série Hydrologie*, Vol. 16, pp 147–170.

33- CASENAVE A., VALENTIN C., (1989) ; Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, 230 pages + 196 photos.

34- CENAGREF, (2009) ; Parc National de la Pendjari, Bénin. Plan d'Aménagement Participatif et de Gestion 2004–2013. CENAGREF/Coopération Bénin-Allemagne, 92 pages. + Annexes.

35- CENALA, (1989) ; Carte linguistique du Bénin à 1/1000000.

36- CENATEL, (2003) ; Carte de végétation du Bénin à 1/200000.

37- CHAISE, L., *et al.*, (2005) ; L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 48 pages.

38- CHANDESRIS, A., *et al.*, (2006) ; Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. CEMAGREF/BEA/LHQ, Lyon. 62 pages.

39- CHORLEY, R. J., (1962) ; "Geomorphology and general system theory", USGS professional Paper, n°500B, pp. 1-10.

40- CHOW, V.T., RAMASESHAN, S., (1965) ; Sequential generation of Rainfall and Runoff. Data. HES Repport, Vol. 11,

41- COHEN, P., (1998) ; Régionalisation de l'habitat physique du poisson : approche multi-scalaire et application au bassin de la Loire, France. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard Lyon I, Villeurbanne. 266 pages.

42- DACHARRY, M., (1993) ; Hydrosystème. Encyclopédie AXIS, Hachette, Paris (France).

43- DCE, (2000) ; Directive n° 2000/60/CE, JOCE n° L 327, Union Européenne, 78 pages.

44- DEMANGEOT, J., (1976) ; Les espaces naturels tropicaux (essai de géographie physique). Masson, paris, New York, Barcelone, Milan, 190 pages.

45- DEPARIS, V., (2011) ; Détermination de l'altitude des montagnes par la méthode barométrique. ENS**,** Lyon**.**

46- DG Environnement du SPF "Santé Publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement", (2006) ; Stratégie nationale de la Belgique pour la Biodiversité 2006-2016, Bruxelles, 92 pages. + Annexes.

47- DGAT/MISD, (2001) ; Atlas monographique des communes du Bénin. Cotonou, Planurba, PP Atacora 1–18/18.

48- DH, (2000) ; Vision eau Bénin 2025. Cotonou, janvier 2000 ; 28 pages.

49- DOUKPOLO, B., (2007) ; Variabilité et tendances pluviométriques dans le nord-ouest centrafricain : enjeux environnementaux. Mémoire de DEA, UAC, 73 pages.

50- DUPRIEZ, H., DELEENER, P., (1984) ; Agriculture tropicale en milieu paysan africain. Edition Terre et Vie, l'Harmattan, Environnement africain – *ENDA*, Paris, 280 pages.

51- EMMANUEL, E., (2004) ; Evaluation des risques sanitaires et Ecotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Thèse de doctorat, INSA, Lyon , 260 pages.

52- ESCADAFAL, R., (1981) ; Une méthode nouvelle de description de la surface des sols dans les régions arides. Actes du colloque « Informatique et traitement des données de sols », Paris, 1981. *In: Sols*, n° 5, pp 21-27.

53- FAKOREDE, M. I. A., (2002) ; Gestion des ressources en eau par les communautés rurales de la Sous-préfecture de Ouèssè, Mémoire de maîtrise, UAC/FLASH/DGAT, 83 pages.

54- FAO, (1997) : Changement du climat et production agricole. Rome, *Polytechnica*, Paris, 375 pages.

55- FAO, (2010) : Le rôle des abeilles dans le développement rural. Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles. Rome, 2010. 248 pages.

56- FAURE, P. (1977) ; Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire de Bénin à 1/200 000. Notice explicative n°66 (6 et 8), Feuille de Natitingou et Porga. ORSTOM, Cotonou, 75 pages.

57- FONTAINE, B., (1981) ; Pluviométrie soudano-sahélienne et dynamique atmosphérique sur l'Afrique occidentale et l'Atlantique nord. Essai sur la variabilité physionomique et génétique d'une zone limite. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Bourgogne, Dijon, 166 pages.

58- FONTAINE, B., (1985) ; La variabilité des précipitations en domaine sahélien et ses connexions avec la circulation atmosphérique africaine atlantique. *Cahier de Centre de Recherche de Climatologie*, N°11, URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon, pp 85-91.

59- FRECAUT, R., (1982) ; Eléments d'hydrologie et de dynamique fluviale. Tome1 : Hydrologie et dynamique fluviale des régions chaudes et humides des basses latitudes, Université NANCY II, 148 pages.

60- FRECAUT, R., PAGNEY, P., (1983) ; Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial. Masson, 240 pages.

61- FREY, D. G., (1975) ; Biological integrity of water – An historical approach. *In : The integrity of water, proceedings of a symposium*, Washington, DC, U.S. Environmental protection Agency, march 10-12, 1975, pp.172-140,.

62- FRISSELL, *et al.*, (1986) : A hierarchical framework for stream habitat classification : viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, N°10, PP. 199-214.

63- FRUITET, J., (1992) ; Outils et méthodes pour le traitement des images. Université de Marne la vallée, 30 pages.

64- FULVIE, K., *et al.*, (2009) ; Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : Cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire. *In Journal européen de la recherche scientifique*, ISSN 1450-216X Vol.26 No.2, pp.209-222 (http://www.eurojournals.com/ejsr.htm).

65- GEORGE, P., (1984) ; Dictionnaire de la géographie. 3ème édition, PUF, Paris, 484 pages.

66- GEORGE, P. et VERGER, F., (1996) ; Dictionnaire de la géographie. Ed. PUF, 500 pages.

67- GIEC, (2007) ; Changements climatiques : Impacts, Adaptation et Vulnérabilité, Résumé à l'intention des décideurs. GIEC Cambridge, 22 pages.

68- GNITONA, P., (2000) ; Stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques et climatiques chez les Bɛtãmmaribɛ de l'Atacora. Mémoire de maîtrise; D.G.A.T./ FLASH / UNB, 81 pages.

69- GOULA, B.T.A., *et al*., (2006) : Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol.7, N°1 (http://vertigo.revues.org/2038)

70- GRANIER, L., (2005) ; Les conventions locales de gestion des ressources naturelles et de l'environnement. Légalité et cohérence en droit sénégalais. *UICN, Droit et politique de l'environnement*, n°65, 45 pages.

71- Hart, J. F., (1982) ; The Highest Form of the Geographer.s Art. *Annals of the Association of American Geographers, vol.* 72, n°1, pp. 1-29.

72- HORTON, R. E., (1945) ; Erosional development of streams and their drainage basins : hydrophysical approach to quantitative geomorphology. *Geological Society of America Bulletin 56,* pp. 275-370.

73- HOUNDENOU, C., (1992) ; Variabilité pluviométrique et conséquences socio-économiques dans les plateaux du bas-Bénin (Afrique de l'Ouest). Mémoire de DEA "Climats et contraintes climatiques". URA 909 du CNRS "Climatologie Tropicale", Université de Bourgogne, 2 volumes, Dijon, 90 pages.

74- HOUNDENOU, C., (1999) ; Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide. L'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon. 390 pages.

75- HOUSSOU, C., (1998) ; Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord-ouest du Bénin) et leurs implications socio-économiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, France, 332 pages.

76- HYNES, H. B.N., (1975) ; The stream and its valley. *Verh. Inter. Verein. Limnol. 19*, pp. 1-15.

77- IDIETI, M. E., (2004) ; Les ressources en eau et leur gestion par les communautés rurales de la commune de Boukombé (Nord-Ouest du Bénin). Mémoire de maîtrise, UAC/FLASH, 117 pages + annexes.

78- IDIETI, M. E., (2009) ; Variabilités hydro-climatique dans le bassin versant de la Pendjari au Bénin (Nord-Ouest du Bénin). Mémoire de DEA, UAC/EDP, 60 pages.

79- IGUE, A. M., BOKO, K. (1993) ; Causes de la faible productivité des plantations d'anacardier de Bakou. *Bull. Rech. Agron.*, N° 7, Cotonou I, pp 13-23.

80- INRAB, (1995) ; Fiche Technique Sols et Forêts. INRAB, Cotonou. 68 pages.

81- INRAB, (1997) ; Recherche et développement agricole au Bénin. INRAB, Cotonou, 856 pages.

82- INRAB, (2006) ; Carte Pédologique de Reconnaissance à 1/ 200 000. Feuilles de Natitingou et de Porga, INRAB, Cotonou.

83- INSAE, (1994) ; Deuxième recensement général de la population et de l'habitat. février 1992, La population de l'Atacora, villages et quartiers de ville. pp. 5-10.

84- INSAE, (2004) ; Troisième recensement général de la population et de l'habitat. Cahier des villages e quartiers de ville, département de l'Atacora, pp. 9-27.

85- ISSA, M. S., (1995) ; Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO2 atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin. Mémoire de DESS, Université Senghor d'Alexandrie, 113 pages.

86- ISSA, M. S., (2012) ; Changements climatiques et agrosystèmes dans le moyen Bénin : impacts et stratégies d'adaptation. Thèse de doctorat unique, UAC/EDP, 279 pages.

87- IVOL-RIGAUT, J.M. (1998) ; Hydro-écorégions et variabilité des communautés du macrobenthos sur le bassin de la Loire. Essai et typologie régionale et référentiel faunistique. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, Villeurbanne. 271 pages.

88- KI-ZERBO, J., (1978) ; Histoire de l'Afrique noire d'hier à demain, Paris, Hatier, 731 p.

89- KOUASSI, A. M., *et al.*, (2010) ; Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Revue européenne de géographie,* article 513 (http://cybergeo.revues.org/23388).

90- KOUSSEY, K. N., (1977) ; Le peuple otâmmari : essai de synthèse historique (Des origines a l'invasion coloniale européenne, 1897). Mémoire de maîtrise, UNB, 244 pages.

91- LE BARBE, L., *et al.*, (1993) ; Monographie des ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Paris, ORSTOM, 540 pages.

92- LE PAPE, S., (1998) ; Analyse et quantification du réseau hydrographique ; Le réseau hydrographique comme objet vectoriel. Mémoire de diplôme d'ingénieur. Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, Mans (France), 1998, 65 pages.

93- LEDUC Ch., (1999) ; Mécanismes de la variabilité hydrologique en zone sahélienne : influences climatiques et environnementales. Rapport provisoire du 22 janvier 1999, 38 pages.

94- LEROUX, M., (1980) ; Le climat de l'Afrique Tropicale. Thèse de doctorat d'Etat Université de DIJON, 4 TOMES, 1427 pages.

95- LOTSPEICH, F. B., (1982) ; "An integrated land-aquatic classification system". *North American Journal of Fisheries management, vol. 2*, pp. 138-149.

96- LUBES H., *et al.*, (1994) ; Logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielles adapté à l'évaluation du risque en hydrologie. manuel de calcul. ORSTOM, Paris, 140 pages.

97- MAEP, (2003) ; Répertoire des textes sur le foncier et les ressources naturelles renouvelables. MAEP/PGTRN, 44 pages.

98- MAEP, (2009) ; Annuaires des statistiques agricoles.

99- MAHE, G., (1992) ; Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique : Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse de Doctorat en science de la terre OR SAY ORSTOM, Montpellier, 385 pages + Annexes.

100- MAMA, D., (2005) ; Rapport intégré sur l'état de l'environnement au Bénin. 2ème édition, Chapitre : RESSOURCES EN EAU, ABE, Cotonou, 47 pages.

101- MEHU, (2003) ; Défis de l'eau et assainissement des villes. *Bulletin d'information,* Spécial semaine de l'habitat, Numéro 11, ECO-CITOYEN, 20 pages.

102- MEHU, (2003) ; République du Bénin. Recueil des textes principaux en matière de droit domanial, de droit de l'urbanisme et de droit foncier, 452 pages.

103- MERCIER, P., (1968) ; Tradition, Changement, Histoire. Les "Somba" du Dahomey septentrional. Paris, Anthropos, 1968, 538 pages.

104- MILLOGO, K. A.,(1993-a), "Recherches préhistoriques au Burkina Faso". *L'Anthropologie*, Tome 97, n°1, Paris, pp.97-118.

105- MORON, V., (1993) ; Variabilité des précipitations en Afrique tropicale au nord de l'Equateur (1933-1990) et relation avec les températures de surface océaniques et de la dynamique de l'atmosphère. Thèse de doctorat, Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon, tome 1, 225 pages.

106- MUSY, A., HIGY, C., (2004) : Hydrologie, une science de la nature. Collection Gérer l'Environnement, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 314 pages.

107- MUSY, A., (2005) : Hydrologie Générale. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements, Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL), Section SIE et GC, 4ème semestre 2005 (http://echo.epfl.ch/e-drologie/- 22/08/2008-14h45)

108- N'DAH, D., (2009) ; Sites archéologiques et peuplement de la région de l'Atakora (nord-ouest du Bénin). Thèse de doctorat unique, Département d'Histoire et Archéologie, Université de Ouagadougou, 502 pages + Annexes.

109- N'DIAYE, I., (2009) ; La dynamique des pluies en Afrique de l'ouest. Chap. II, pp.10-22.

110- NATTA, N. K. J., (1999) ; Tradition et développement : occupation et organisation spatiale chez les Bɛtãmmaribɛ du Nord-Bénin. Mémoire de Maîtrise; UNB/FLASH/DGAT, 148 pages.

111- NEUY, G., (1991) ; L'homme et l'eau dans le domaine tropical. Masson, Paris ; 227 pages.

112- N'TCHA, K. J., (1990) ; Bases anthropologiques de la dispersion de l'habitat dans le Bénin septentrional : le cas otãmmari. Mémoire de DEA, Institut des sciences de l'environnement, Université CHEKH ANTA DIOP de Dakar, 84 pages.

113- N'TIA, R., (1993) ; Géopolitique de l'Atakora précolonial. *Afrika Zamani*, Revue d'histoire africaine, nouvelle série n° 1, pp. 95-106.

114- OGOUWALE, E., (2004) ; Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Mémoire de DEA, UAC/FLASH ; 79 pages + Annexes.

115- OGOUWALE, E., (2006) ; Changement climatique dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de doctorat unique, UAC/EDP, 302 pages.

116- OMERNIK, J., M., GALLANT, A., (1986) ; Ecoregions of the pacific Northwest. Environmental Protection Agency, 39 pages.

117- OMERNIK, J., M., (1987) ; Ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the association of American geographers*, vol. 77, pp. 118-125.

118- OMOTOSHO, B., J., (1984) ; Spatial and seasonal variation of line squalls over West Africa. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology*, Series A, Volume 33, Issue 2-3, pp 143-150.

119- OUASSA KOUARO, M., (2003) ; Les dimensions socio-économiques de la désertification : Cas des communes de Matéri et de Tanguiéta en République du Bénin. Mémoire de DEA, UAC/FLASH, 111 pages + annexes.

120- OUASSA KOUARO, M., (2008) ; Les déterminants socioculturels de la désertification dans l'Atacora Ouest au Bénin. Thèse de doctorat, Université Paris IV et Université d'Abomey-Calavi, 217 pages + annexes.

121- OUEDRAOGO, M., (2001) ; Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante. Normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 257 pages.

122- PAGNEY, P., FRECAUT, R., (1983) ; Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial. Masson, PARIS, 239 pages.

123- PAGNEY, P., (1994) ; Les catastrophes climatiques. *Collection Que Sais-Je*, n°2878. PUF, octobre 1994.

124- PELLA, H., *et al.*, (2001) ; Caractérisation des vallées alluviales. CEMAGREF, Lyon, IFEN,125 pages.

125- PELLA, H., *et al.*, (2003) ; Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. *In : Mise en place de systèmes d'information à références spatiales (SIRS)*. Actes du Vè séminaire, Montpellier, 13-14 novembre 2003, CEMAGREF Editions, pp. 47-59.

126- PELLA, H., *et al*., (2004) ; Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. *Ingénieries - Eau Agriculture Territoires*, 40 : 11-20.

127- PNUD, (2004) ; human development report. Cultural liberty in today's diverse world. 285 pages.

128- RAMADE, F., (1998) ; Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau – Biochimie et écologie des eaux continentales et littorales. *Ediscience international*, Paris, 800 pages.

129- RICHARD, J.-F., (1989) ; Méthode d'analyse des paysages : Un système d'informations géographiques, ORSTOM, Paris, 68 pages.

130- ROCHE, M., (1963) ; Hydrologie de Surface. *Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM)*, Gauthier-Villars, Paris (France).

131- SADJI, B. A., (2004) ; Vulnérabilité/adaptation des ressources en eau de surface aux changements climatiques dans le département de la Donga. Mémoire de maîtrise, UAC/FLASH, 115 pages. + Annexes.

132- SERHAU, (1992) ; Atlas cartographique de la région Nord du Bénin.

133- SERVANT-VILDARY, S., ROUX, M., (1990) ; Variations de température estimées à partir du déplacement en altitude des associations de diatomées dans une séquence holocène de la Cordillère Orientale de Bolivie. *Acad., CRS*, Paris, tome 311, Série II, pp. 429-436.

134- SOUCHON, Y., *et al.*, (2000) ; Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Agence de l'eau Loire Bretagne, CEMAGREF, BEA/LHQ, 291 pages.

135- SOULET, J.-Y., (2001) ; Caractérisation hydrologique et géomorphologique des principaux bassins versants du pourtour de la méditerranée et de la mer noire à partir d'un MNT. Mémoire de maîtrise de géographie spécialité Environnement, Université Paul Valéry Montpellier 3, UFR 3, département de géographie, 150 pages.

136- STRAHLER, A., N. (1952) ; Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, November 1952, V.n°63, p. 1117-1142.

137- SUTCLIFFE J. V., PIPER B. S., (1986) ; Bilan hydrologique en Guinée et Togo-Bénin. *Hydrol. continent*, vol. I, n°1, pp. 51-61.

138- TCHIBOZO, C. F., (2001) ; Analyse des paysages : Etude intégrée des milieux biophysiques. Cours GA307b, DGAT/FLASH/UAC.

139- TENTE, A. B., (2005) ; Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora : secteur Perma – Toukountouna (Bénin). Thèse de doctorat unique, UAC/FLASH/Géographie et Gestion de l'Environnement, 252 pages.

140- TIANDO, E., (1996) ; "Les sociétés à structures non centralisées de l'Atakora à l'époque précoloniale : étude rétrospective des formes d'occupation et d'exploitation économique de l'espace". *West African Journal of Archaeology (Revue Ouest africaine d'archéologie)*, Volume 26, n° 1, Ibadan, pp. 38-.68.

141- TOTIN, V.H.S., (2005) ; Tendances hydroloclimatiques et scénarios de gestion des ressources en eau sur les plateaux du sud-Bénin. Mémoire de DEA, UAC/FLASH. 83 pages.

142- TOTIN, H.S.V., *et al.*, (2010) ; Variabilité hydroclimatique dans le bassin de la Volta au Bénin : un indicateur de gestion intégrée des ressources en eau. *in integrated water resources management and challenges of the sustainable development*, second international conference agadir, pp.24-26.

143- TURC, L., (1955) ; Le bilan d'eau des sols : relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales agronomiques,* vol. 6, n° 1, pp. 3-133.

144- VISSIN, E. W., (1998) ; Contribution à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin de la Sota. Mémoire de Maîtrise, Géographie, UNB, Bénin, 92 pages.

145- VISSIN, E. W., (2001) ; Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin du fleuve Niger. Mémoire de DEA, UAC/FLASH, 53 pages.

146- VISSIN, E. W., (2007) ; Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse unique de doctorat, Université de Bourgogne, 285 pages + annexes.

147- WASSON, J.G., (1989) ; Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes. Revue critique de quelques approches existantes. *Bull. Ecol*., 20(2), pp. 109-127.

148- WASSON, J.G., *et al*., (1993) ; Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase I : Etat initial-Problématique. Cemagref, Lyon BEA/LHQ, Université de St Etienne, CRENAM (CNRS 260), 102 pages + Atlas, 70 planches + Annexes.

149- WASSON, J.G., (1994) ; Ecorégions et systèmes de référence. In : Etat de santé des écosystèmes aquatiques : les variables biologiques comme indicateurs, Paris, 2 & 3, Cemagref Editions, pp. 55-66.

150- WASSON, J.G., (1996) ; Structures régionales du bassin de la Loire. *La Houille Blanche*, 6/7 : 25-31.

151- WASSON, J.G., *et al.*, (2001) ; Définition des hydro-écorégions françaises. Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive cadre pour la gestion des eaux. Rapport de phase I, Cemagref Lyon/MATE, Direction de l'eau, 68 pages.

152- WASSON, J.G., *et al.*, (2002) ; Les hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Cemagref BEA/LHQ, 190 pages.

153- WASSON, J.G., *et al.*, (2003) ; Typologie des eaux courantes pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : l'approche par Hydro-écorégion. In : Mise en place de systèmes d'information à références spatiales(SIRS). Actes du Vè séminaire. Montpellier, 13-14 novembre 2003, Cemagref Editions, pp. 39-45.

154- WASSON, J.G., *et al.*, (2004) ; Les Hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. *Ingénieries - Eau Agriculture Territoires*, vol. 40, pp. 3-10.

155- WAUTHY, B., (1983) ; Introduction à la climatologie du Golfe de Guinée. O*céanogr. Trop*., 18 (2), ORSTOM, Paris, pp. 103 - 138.

156- WIKEN, E., B. (1986) ; Ecozones terrestres du Canada. Série de la classification écologique du territoire, N°19, Environment Canada, Hull, Qc. 27 pages + Carte.

157- WILCOX, B.A., (1994); Ecosystem goods and services: an operational framework. Working Paper of the 2050 Project. Washington. DC. WRI.

158- YABI, I., (2005) ; Rôle de l'agroforesterie à base de l'anacardier dans la dynamique de l'occupation du sol dans la région des monts kouffe (secteur Agbassa-Idadjo). Mémoire de DEA, UAC/FLASH, 95 pages.

159- YABI, I., (2008) : Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son developpement dans le centre du Bénin. Thèse de doctorat unique de l'Univrsité d'Abomey-Calavi, 220 pages + Annexes.

Quelques sites web consultés :

1- http://eduterre.inrp.fr/eduterre-usages/nappe/html/scenarii/TP/tp1.htm : Etude de la porosité et de la perméabilité, by Vallee, Eduterre-usages, Dernière modification 25/02/2008.

2- http://lemunicipal.org/index.php/2008/12/09/variabilite-climatique-au-benin-le-benin-aux-difficiles-heures-de-l%E2%80%99adaptation/ -02/03/2009 : Variabilité climatique au Bénin: Le Bénin aux difficiles heures de l'adaptation, article de Alain TOSSOUNON, Le municipal, décembre 2008.

3- http://siteresources.worldbank.org/EXTIDAFRENCH/Resources/GestionEau_FR.pdf : Ressources en eau : la gestion d'une ressource commune rare.

4- http://www.fao.org /: Déclaration à l'occasion de la 19ème session extraordinaire de l'Assemblée générale des Nations Unies, consacrée à un examen et à une évaluation d'ensemble de la mise en œuvre d'Action 21. New York, Etats-Unis, 26 juin 1997

5- http://www.inbo-news.org/wwf/NoteGIRE_Kyoto.pdf : Forum de l'eau de Kyoto Contribution à la session du RIOB « Les progrès réalisés dans le monde dans la gestion intégrée des ressources en eau par bassin » : GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU ; Par M. Jean-Michel SEVERINO.

6- www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/sols/mieux/climatique4.html.26/02/2006-13h20 : Mieux connaître les sols : Sols et changements climatiques.

7- www.cites.org/fra/app/index.shtml : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction ; documents officielles.

8- www.inpn.mnhn.fr/espece/listerouge/W : Liste rouge mondiale des espèces menacées (Novembre 2011).

9- http://www.docstoc.com/docs/6607940/-LA-DYNAMIQUE-DES-PLUIES-EN-AFRIQUE-DE-L%E2%80%99OUEST#

10- www.iucnredlist.org : Liste rouge des espèces menacées.

11- www.ineris.fr/aida/ : la réglementation des activités à risque

12- http://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICHYDRO.HTM

13- http://gisdata.usgs.net/website/HydroSHEDS/viewer.php

14- http://www.hydrosciences.fr/sierem/produits/

15- http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/africa.htm

16- http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/

17- http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04965

18- http://glcf.umiacs.umd.edu/data/

19- //ftp.glcf.umiacs.umd.edu/glcf/Landsat/WRS1/p193/r053/

20- http://glovis.usgs.gov/

21- http://www.lyon.cemagref.fr/doc/these/index.shtml

22- http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/wasson.shtml

23- http://www.pendjari.net/spip.php?article129=&var_recherche=avigref

24- http://www.abn.ne/index.php/eng/NBA/Member-countries/Benin/Le-contexte-physique/Ressources-en-eau

25- http://www.planet-terre.ens-lyon.fr/

26- http://lemunicipal.org/index.php/2008/12/09/variabilite-climatique-au-benin-le-benin-aux-difficiles-heures-de-l%E2%80%99adaptation/

27- http://www.afrikinfo.com/lois/gouvern/map_ad.htm

28- http://siteresources.worldbank.org/EXTIDAFRENCH/Resources/GestionEau_FR.pdf

29- http://asterweb.jpl.nasa.gov/images/GDEM-10km-colorized.png

30- http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp

31- http://www.geoportail.fr/5062702/faq/les-donnees.htm

32- http://www.landsat.org/ortho/index.php

33- http://www.rse.inrs.ca/ (Site de la revue des sciences de l'eau)

34- http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15113# (Indicateurs biologiques des sols)

35- http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/eau-sol.htm (Formules de calcul de l'ETP et de l'ETR)

36- http://bulletin.geoscienceworld.org

Table des figures

Figure 1: *Situation géographique du bassin versant béninois de la Pendjari* 15
Figure 2 : *Relief du bassin versant béninois de la Pendjari*..... 17
Figure 3 : R*éseau hydrographique du bassin versant de la Pendjari*..... 19
Figure 4 : *Coupe géologique dans le bassin versant de la Pendjari*..... 21
Figure 5 : Sols *du Bassin versant béninois de la pendjari*..... 24
Figure 6 : *Mouvement oscillatoire annuel de la ZIC sur l'Afrique*..... 25
Figure 7 : *Evolution des populations des communes du bassin versant de la Pendjari de 1992 à 2012*..... 29
Figure 8 : *Répartition spatiale des stations pluviométriques et hydrométriques des données collectées pour cette étude.* 53
Figure 9 : *Répartition spatiale des localités enquêtées dans le secteur d'étude*..... 57
Figure 10 : *Schémas de classification des cours d'eau de Horton (1945) et de Strahler (1952)* 64
Figure 11 : *Schéma conceptuel des relations entre les critères d'identification des hydro-écorégions du bassin de la Pendjari* 72
Figure 12 : *Shéma de prélèvement de cinq (05) échantillons d'eau sur une section d'un cours d'eau*..... 78
Figure 13 *: Répartition spatiale des points de prélèvement d'eau* 79
Figure 14 : *Hydro-écorégions de niveau 1 du bassin versant de la Pendjari et Hiérarchisation des cours d'eau (selon la méthode de Strahler)* 88
Figure 15 : Unités g*éologiques* des *hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari* 89
Figure 16: *Altitudes du bassin versant de la Pendjari* 90
Figure 17 *: Pentes du bassin versant de la Pendjari*..... 90
Figure 18 : *Champs de la pluviosité du bassin versant de la Pendjari (période 1961-2006)*.. 91
Figure 19 : *Champs des températures moyennes du bassin versant de la Pendjari (période 1961-2006)* 91
Figure 20 : *Variabilité interannuelle des températures moyennes dans le bassin versant de la Pendjari sur la période 1961-2006.* 101
Figure 21 : *Variabilité de la température moyenne mensuelle sur les décennies 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000 dans le bassin versant de la Pendjari*..... 102
Figure 22 : *Régime pluviométrique dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari (Moyennes 1961-2006)*..... 103

Figure 23 : *Répartition des mois d'une année entre les deux saisons dans les HER du bassin versant béninois de la Pendjari*..... 104
Figure 24 : *Ruptures de stationnarité des pluviométries annuelles dans les Hydro-Ecorégions du bassin de la Pendjari au Bénin sur la période 1961-2006*..... 107
Figure 25: *Variabilité interannuelle et tendance pluviométrique dans les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari*..... 108
Figure 26 : *Répartition temporelle des années exceptionnelles enregistrées dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari de 1961 à 2006*..... 109
Figure 27 : *Pluviométries saisonnières des sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 dans les Hydro-Ecorégions du bassin de la Pendjari*..... 111
Figure 28 : *Bilan climatique mensuel dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*..... 113
Figure 29 : *Variation du bilan climatique sur les sous-périodes 1961-1975 et 1976-2006 dans les Hydro-Ecorégions du bassin versant de la Pendjari*..... 114
Figure 30 : *Bilan climatique interannuel (1961-2006) dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari*..... 114
Figure 31 : *Variation mensuelle des débits dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari.* 116
Figure 32 : *Variabilité interannuelle de l'écoulement dans les hydro-écorégions du bassin versant béninois de la Pendjari*..... 117
Figure 33 : *Variation des coefficients d'écoulement annuels de 1961 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari* 121
Figure 34 *: Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 1972* 126
Figure 35 : *Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 1990* 126
Figure 36*: Occupation de l'espace du bassin versant béninois de la Pendjari en 2006* 126
Figure 37: *Evolution de la démographie dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari*..... 138
Figure 38 : Evo*lution des superficies cultivées dans le bassin versant béninois de la Pendjari de 1997-2006*..... 142
Figure 39 : *Evolution du cheptel dans le bassin versant de la Pendjari de 1998 à 2007* 143

Table des tableaux

Tableau I : Synthèse des études sur les hydro-écorégions 47
Tableau II : Répartition spatiale des villages cibles par commune et par unité de relief pour les enquêtes de terrain 56
Tableau III : Répartition des individus enquêtés dans le secteur d'étude 58
Tableau IV : Données géographiques, météorologiques et hydrologiques disponibles du bassin versant de la Pendjari 59
Tableau V: Regroupement des faciès géologiques du bassin versant de la Pendjari 62
Tableau VI : Critères d'identification et de délimitation des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari. 71
Tableau VII : Clé d'interprétation des images satellites 82
Tableau VIII : Caractéristiques physiques des hydro-écorégions (HER) du bassin versant béninois de la Pendjari 93
Tableau IX: Les intersaisons et leurs signes d'identification dans les HER du bassin versant de la Pendjari 105
Tableau X : Déficit de la pluviosité mensuelle dans l'HER de l'Atacora (Natitingou) 111
Tableau XI : Déficit de la pluviosité mensuelle dans l'HER de Gourma (Tanguiéta) 112
Tableau XII : Déficit de l'écoulement dans le bassin de la Pendjari 118
Tableau XIII : Bilan hydrologique dans les Hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari sur la période 1961-2006 119
Tableau XIV : Evolution du nombre de quelques mammifères dans le Parc Pendjari en trois ans (2004-2006) 127
Tableau XV : Evolution des superficies des unités d'occupation du sol de 1972 à 2006 dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 128
Tableau XVI : Perception paysanne de la dynamique des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 130
Tableau XVII : Perception paysanne la dynamique des masses d'eau dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 134
Tableau XVIII : Application des stratégies endogènes dans les HER du bassin versant de la Pendjari 163
Tableau XIX : Structures Non Gouvernementales (SNG) intervenant dans la gestion durable des ressources naturelles dans le bassin de la Pendjari. 168

Table des photos et Planches

Photo 1: Tata somba à Koutagou (Commune de Boukombé)..... 32
Photo 2 : Campement de pêcheurs à Porga (Commune de Matéri) 33
Photo 3 : Troupeau de bœufs des Peuhls à Nanimbou (Tanguiéta) 34
Photo 4 : Pêche dans la rivière Pendjari à Porga..... 35
Photo 5 : Une ruche traditionnelle sur un arbre d'une galerie forestière à Tchatingou (Tanguiéta). 36
Photo 6 : Rivière Pendjari en crue à Porga pendant la saison pluvieuse..... 116
Photo 7 : Rivière Pendjari en étiage à Porga pendant la saison sèche 117
Photo 8 : Trous d'eau sacrés et fétiche à Tchatingou, sources de la cascade de Tanoungou . 140
Photo 9 : Cobe tué dans le Parc-Pendjari et ramené au campement de chasse à Tanoungou pour contrôle. 145
Photo 10 : Mare aménagée à Kounagningou (Boukombé) 150
Photo 11: Source aménagée à Koutagou (Boukombé)..... 151
Photo 12: Trou d'eau à Kontchougou (Boukombé)..... 151
Photo 14 : Barrage de Tchakalakou (à Toukountouna) ; HER de l'Atacora..... 152
Photo 13 : Surcreusement à Dassari (Matéri) ; HER de Gourma..... 153
Photo 15: Champ de maïs en semis échelonné à Tiélé (Tanguiéta)..... 154
Photo 16: Champ d'igname en association avec le riz et le gombo à Tiélé (Tanguiéta)..... 155
Photo 17 : Nids d'abeilles à Takpanta (Boukombé) 157
Photo 18 : Cordons pierreux ou casiers de cultures à Kounawhongou (Boukombé)..... 158
Photo 19 : Billonnage cloisonné à Tchapéta (Boukombé)..... 159
Photo 20 : Billonnage perpendiculaire et parallèle à la pente à Porga..... 160
Photo 21 : Billons isohypses sur un flanc d'une colline à Koutagou (Boukombé)..... 161

Planche 1: Schéma du dispositif en nids d'abeilles..... 157
Planche 2 : Schéma de la technique de cordons pierreux. 158
Planche 3 : Schéma du Billonnage cloisonné..... 159

ANNEXES

Annexe 1a : Coordonnées des stations des données climatiques et hydrologiques du secteur d'étude

Station du bassin versant de la Pendjari

Stations pluviométriques	**Coordonnées en degrés décimaux**	
	Latitudes	**Longitudes**
Natitingou	10,316667	1,383333
Tanguiéta	10,616667	1,266667
Porga	11,000067	0,966667
Boukombé	10,166667	1,100000
Kouandé	10,333333	1,690000
Kerou	10,825000	2,109444
Stations hydrologiques		
Porga	11,050000	0,966700
Tiélé	10,716700	1,200000

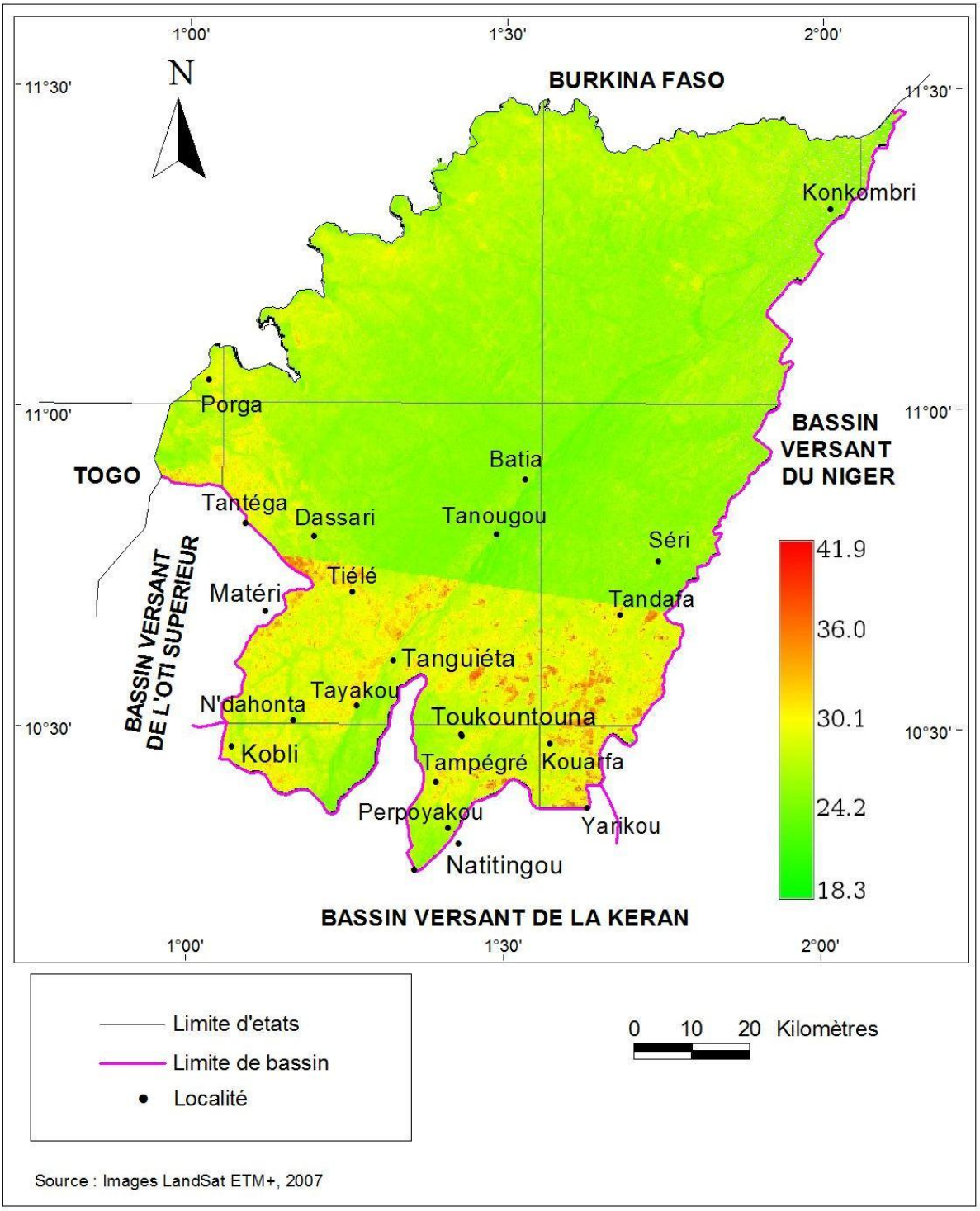
Stations témoins

Stations pluviométriques	**Coordonnées en degrés décimaux**	
	Latitudes	**Longitudes**
Banikoara	11,300000	2,433333
Diapaga	12,129556	1,836389
Fada Ngourma	12,168250	0,435056
Pama	11,220528	0,888722
Kara ville	9,663000	1,315083
Pagouda	9,766389	1,350000
Niamtougou	9,863611	1,234861

Annexe 1b : **Répartition des années exceptionnelles enregistrées dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari de 1961 à 2006**

	Années de sécheresse	**Années d'excédent de pluies**	**Années normales**
HER de GOURMA (Station de Tanguiéta)	1961,1977, 1985, 1987, 1988, 1990	1962, 1963, 1964, 1968, 1972, 1994, 1998, 2005	1965, 1966, 1967, 1969, 1970, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1989, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006.
Proportions (%)	13%	17%	70%
HER de l'ATACORA (Station de Natitingou)	1961,1977, 1985, 1987, 1997, 2000, 2006	1962, 1963, 1968, 1969, 1974, 1978, 1998, 2003	1964, 1965, 1966, 1967, 1970, 1971, 1973, 1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1989, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 1999, 2001, 2002, 2004.
Proportions (%)	15%	17%	67%

<u>Annexe</u> 2a : Champs des températures à partir des images satellites

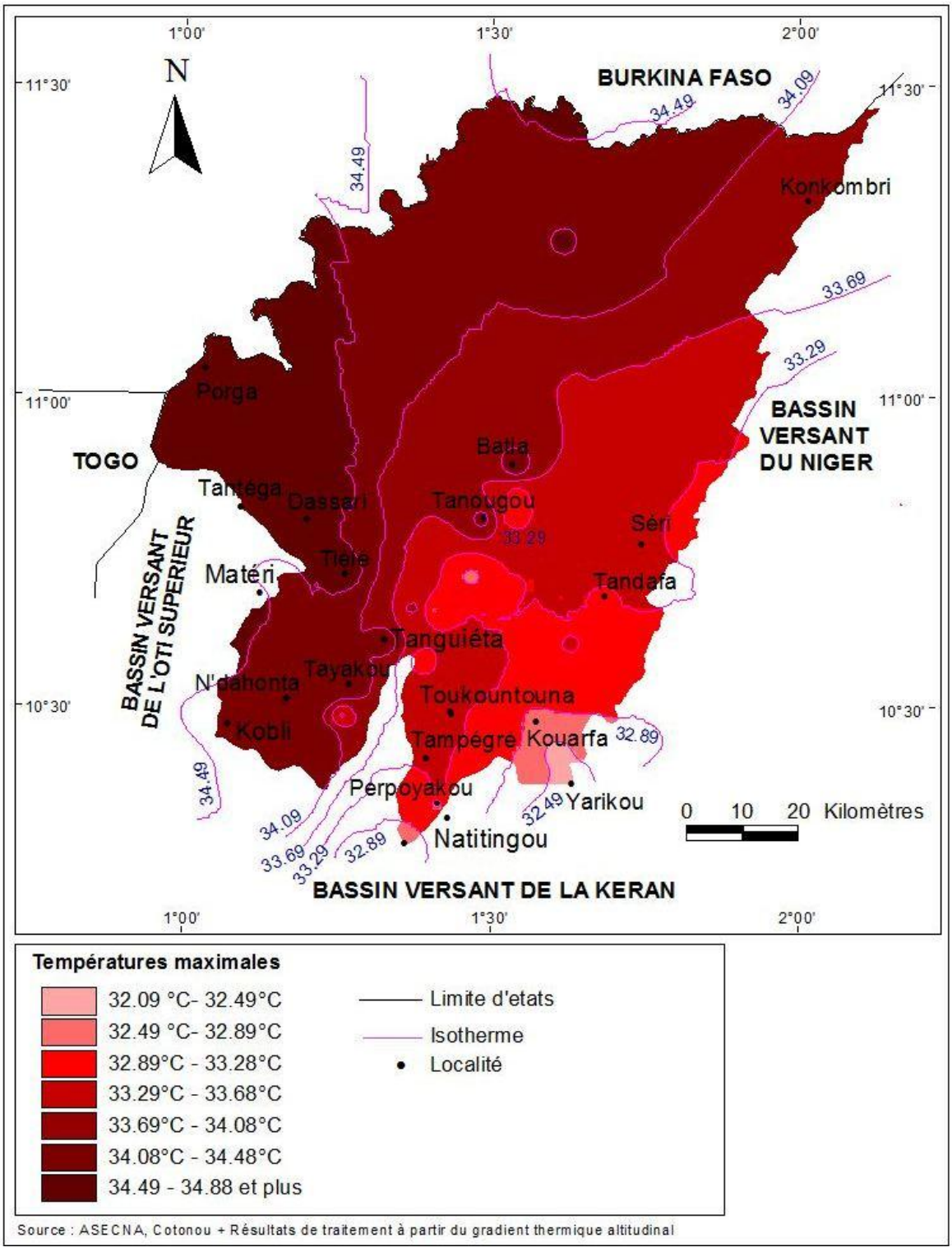


<u>Annexe</u> 2b : Températures des localités déterminées à partir des altitudes et du gradient thermique altitudinal (GT = 0,5°C pour 100 m)

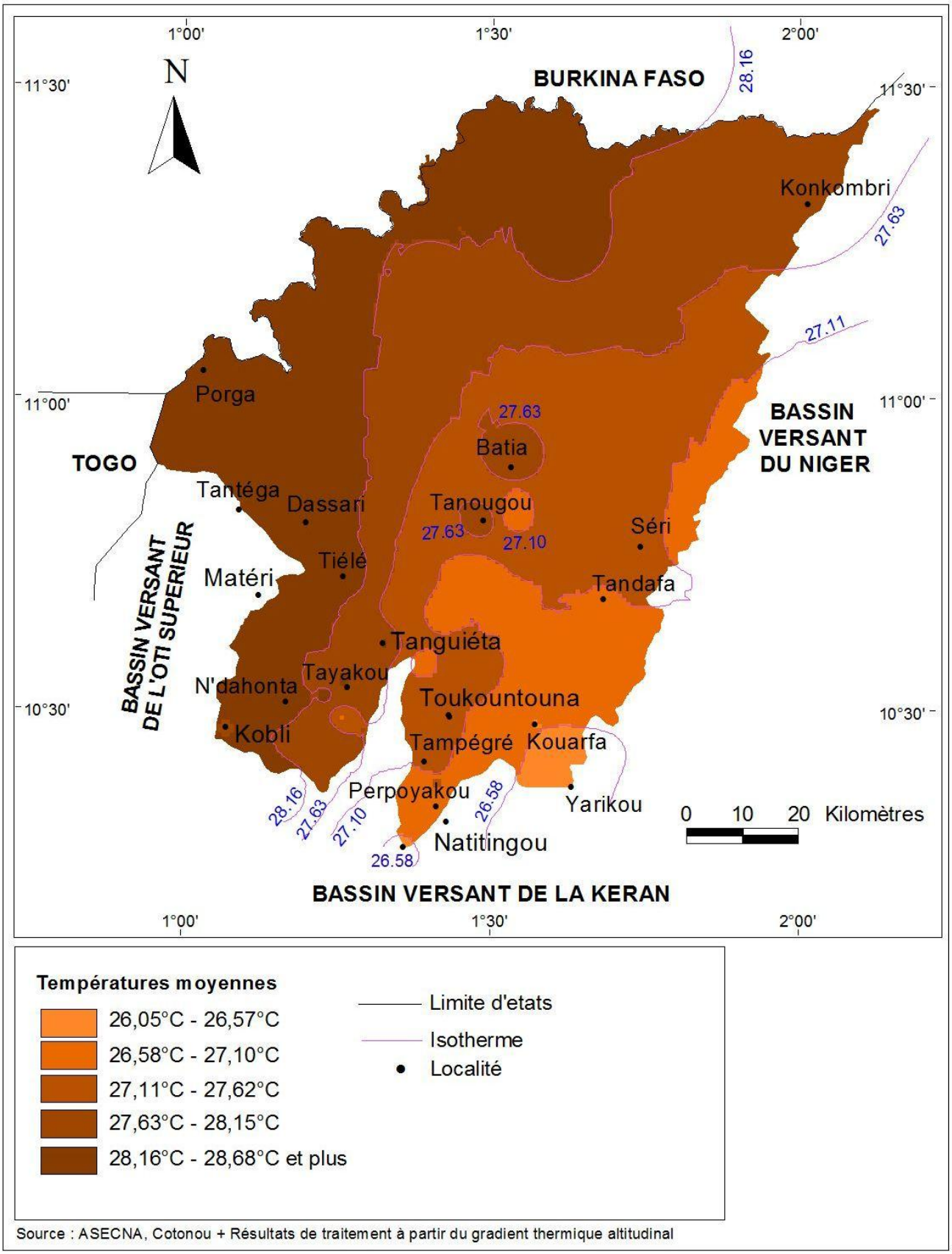
Localités	Coordonnées		Altitudes (en m)	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Temp. Moy (°C)
	Longitudes	Latitudes				
Porga	0,977300	11,034200	142	34,9	22,5	28,7
Batia	1,482200	10,884500	243	34,3	21,9	28,1
Boukombé	1,100000	10,166667	220	34,5	22,1	28,3
Dassari	1,140000	10,793900	187	34,6	22,2	28,4
Datori	0,787100	10,397500	174	34,7	22,3	28,5
Firouhoun	1,064100	10,814400	192	34,6	22,2	28,4
Gouandé	0,919600	10,766500	175	34,7	22,3	28,5
KOBLI	1,013200	10,463400	242	34,3	21,9	28,1
Konkombri	1,946900	11,312400	306	34,0	21,6	27,8
Kotari	1,070500	10,587300	219	34,5	22,1	28,3
Kountori	0,943000	10,388800	182	34,7	22,3	28,5
Koutangou	1,105700	10,351200	214	34,5	22,1	28,3
Manta	1,108800	10,348800	210	34,5	22,1	28,3
Matéri	1,066600	10,676200	204	34,6	22,2	28,4
Nafayaoti	1,205700	10,542900	232	34,4	22,0	28,2
Naouangou	1,010000	10,502400	235	34,4	22,0	28,2
N'dahonta	1,111300	10,503800	213	34,5	22,1	28,3
Nodi	1,010900	10,606000	202	34,6	22,2	28,4
Pama	0,888722	11,220528	242	34,3	21,9	28,1
Pingou	1,113400	10,674900	226	34,4	22,0	28,2
Satiandiga	1,022500	10,908700	162	34,8	22,4	28,6
Souomou	1,088000	10,694000	245	34,3	21,9	28,1
Tabota	1,039300	10,386800	228	34,4	22,0	28,2
Tanguiéta	1,271100	10,599700	234	34,4	22,0	28,2
Tantéga	1,033100	10,813100	224	34,4	22,0	28,2
Tapoga	0,985000	10,559000	190	34,6	22,2	28,4
Tayakou	1,209500	10,529000	237	34,4	22,0	28,2
Tchanhoun-Kossi	0,973900	10,726700	177	34,7	22,3	28,5
Tiaéta	1,142800	10,508200	236	34,4	22,0	28,2
Tiélé	1,205500	10,710800	176	34,7	22,3	28,5
Tihoun	1,079100	10,788600	193	34,6	22,2	28,4
Yohongou	1,176000	10,513900	227	34,4	22,0	28,2
Banikoara	2,433333	11,300000	300	34,0	21,6	27,8
Kèrou	2,109444	10,825000	310	31,3	16,6	24,0
Nanébou	1,316700	10,650900	342	33,8	21,4	27,6
Ouankou	1,176000	10,450300	253	34,3	21,9	28,1
Tanougou	1,428100	10,797600	269	34,2	21,8	28,0
Tipaoti	1,286700	10,122500	290	34,1	21,7	27,9
Bouyagnindi	1,571800	10,596000	435	33,3	20,9	27,1
Didompèi	1,290000	10,183300	360	33,7	21,3	27,5

Kaba	1,358400	10,372800	433	33,3	20,9	27,1
Kaba-Koudengou	1,357300	10,373000	428	33,3	20,9	27,1
Kadassou	1,379700	10,564300	390	33,5	21,1	27,3
Kokota	1,365700	10,419000	413	33,4	21,0	27,2
Kouandata	1,387800	10,141800	372	33,6	21,2	27,4
Kpakotankoga	1,663400	10,720400	410	33,4	21,0	27,2
Manougou	1,316700	10,635500	417	33,4	21,0	27,2
Moussitingou	1,406500	10,549800	371	33,6	21,2	27,4
Séri	1,684400	10,760900	385	33,6	21,2	27,4
Tampégré	1,337600	10,410400	430	33,3	20,9	27,1
Tampobré	1,552400	10,547300	437	33,3	20,9	27,1
Tandafa	1,630500	10,673900	442	33,3	20,9	27,1
Tchakalakou	1,340900	10,526400	404	33,5	21,1	27,3
Toukontouna	1,378800	10,480600	380	33,6	21,2	27,4
Dikouan	1,301700	10,274500	540	32,7	20,3	26,5
Kouandé	1,690000	10,333333	450	33,2	20,8	27,0
Kouarfa	1,516000	10,473000	534	32,8	20,4	26,6
Kronkoré	1,334300	10,566800	494	33,0	20,6	26,8
Natitingou	1,375000	10,305000	454	33,2	20,8	27,0
Niangou	1,410500	10,705000	522	32,8	20,4	26,6
Ouroufinan	1,751500	10,770200	463	33,2	20,8	27,0
Perpoyakou	1,356600	10,340600	523	32,8	20,4	26,6
Tahongou	1,201400	10,481100	453	33,2	20,8	27,0
Tankouga	1,484700	10,834200	464	33,1	20,7	26,9
Tantoukou	1,392300	10,413100	454	33,2	20,8	27,0
Tektibayaou	1,417900	10,471900	462	33,2	20,8	27,0
Tiatingou	1,476900	10,805300	468	33,1	20,7	26,9
Tora	1,351800	10,649000	513	32,9	20,5	26,7
Waabou	1,458500	10,479000	475	33,1	20,7	26,9
Banguiritamou	1,550200	10,422600	606	32,4	20,0	26,2
Kotopounga	1,535800	10,307300	626	32,3	19,9	26,1
Kouaba	1,225000	10,250200	582	32,5	20,1	26,3
Koussoukouangou	1,201700	10,175700	570	32,6	20,2	26,4
Pouya	1,484000	10,285700	620	32,3	19,9	26,1
Taguayè	1,304000	10,258800	570	32,6	20,2	26,4
Yarikou	1,577400	10,373300	621	32,3	19,9	26,1
Hotèl Pendjari	1,58963889	11,49875	198,5	34,6	22,2	28,4
Mare Bali	1,55866667	11,24386	211,5	34,5	22,1	28,3
Mare Diwouni	1,71677778	11,51575	196	34,6	22,2	28,4

<u>Annexe</u> 2c_1 : Champs des températures maximales générées à partir du gradient thermique altitudinal

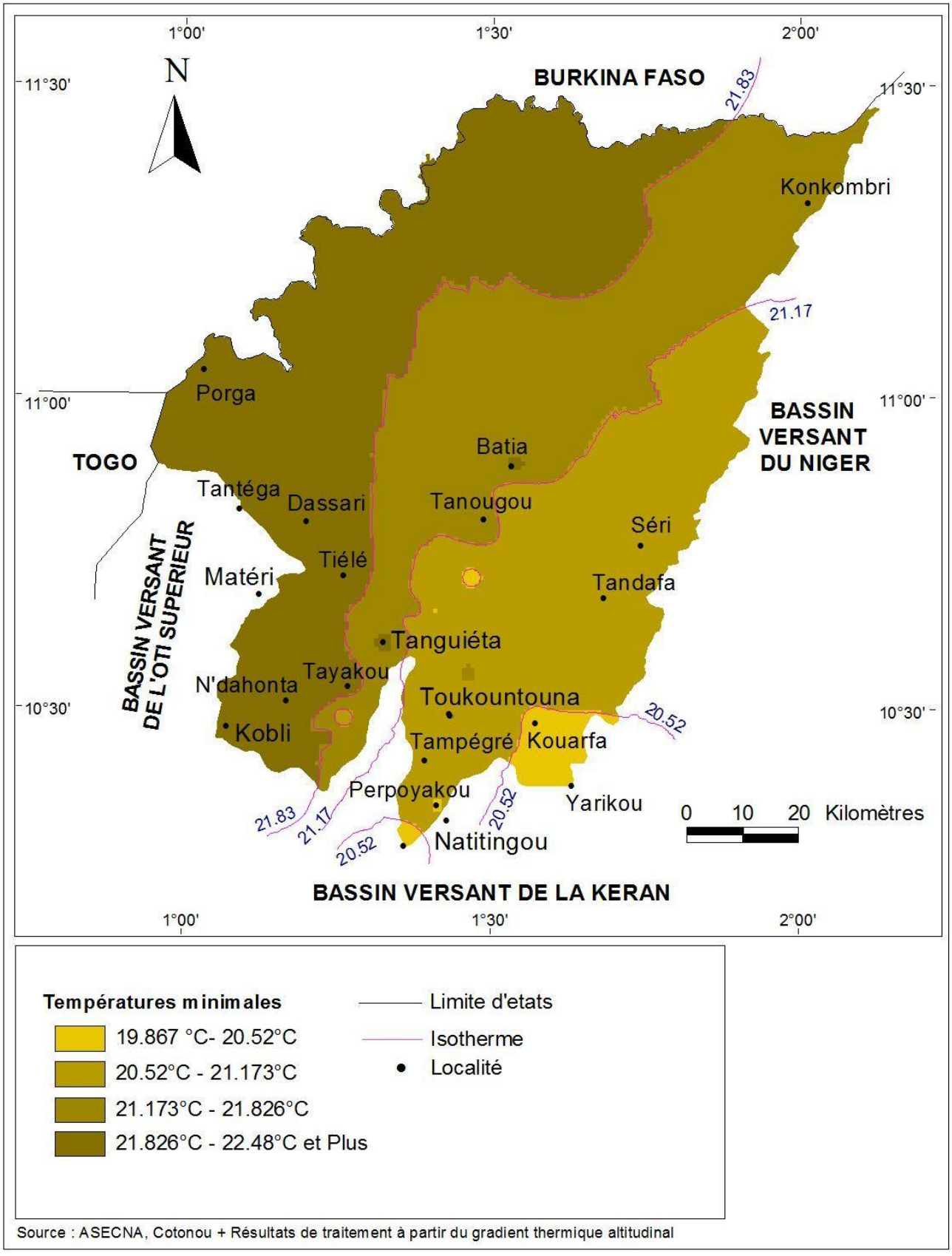


<u>Annexe</u> 2c_2 : Champs des températures moyennes générées à partir du gradient thermique altitudinal



Source : ASECNA, Cotonou + Résultats de traitement à partir du gradient thermique altitudinal

<u>Annexe</u> 2c_3 : hamps des températures minimales générées à partir du gradient thermique altitudinal



Annexe 3 : ***Les classifications descriptives des réseaux hydrographiques***

(*Sébastien LE PAPE , « analyse et quantification du réseau hydrographique ; Le réseau hydrographique comme objet vectoriel », 1998, pp 8-11*)

Dans ce chapitre, nous allons reprendre plus en détail l'un des types de chenal fluviatile précédemment définis : le chenal unique. Nous en énumérerons les différentes formes rencontrées sur la planète, à travers des classifications.

Le principal travail sur ce sujet est signé par Howard2. Il a établi une classification descriptive des différentes formes de réseau hydrographique. Cette classification est fondée sur l'aspect géométrique (en plan : ce que nous étudions) à laquelle correspond un nom d'identification. D'autres travaux ont été entrepris pour essayer de classifier les réseaux hydrographiques selon d'autres critères.

2.2.1. La classification descriptive de Howard

Howard n'est pas le précurseur en matière de classification, mais ses travaux sont cités comme étant remarquables, détaillés et abondamment repris3.

L'énumération que propose Howard est classée en divers types :

- les types de base qui définissent huit classes principales (Cf. Figure 2-6) ;
- les types modifiés ou qui détaillent les huit classes principales (Cf. Figure 2-7).

2.2.1.1. Type dendritique (D):

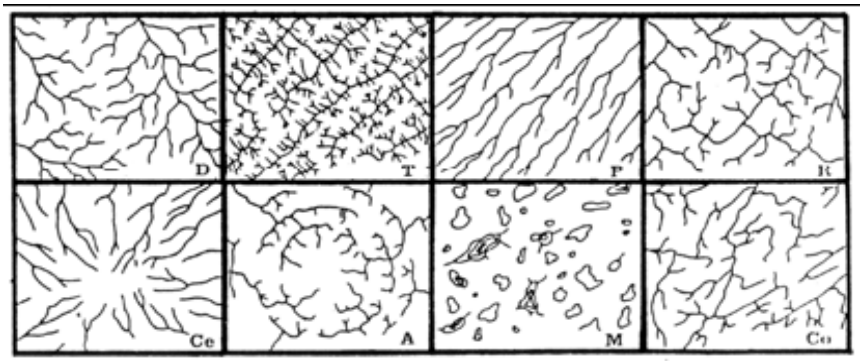
Ce type correspond soit à des sédiments uniformément résistants, horizontaux ou biseautés par une surface horizontale, soit à des roches cristallines ; une pente régionale faible devait exister au moment de l'installation du drainage.

Types modifiés :

- sub-dendritique (1) : traduit un contrôle structural secondaire mineur;
- penné (2) : présente une texture souvent très fine, ce type est fréquent dans les

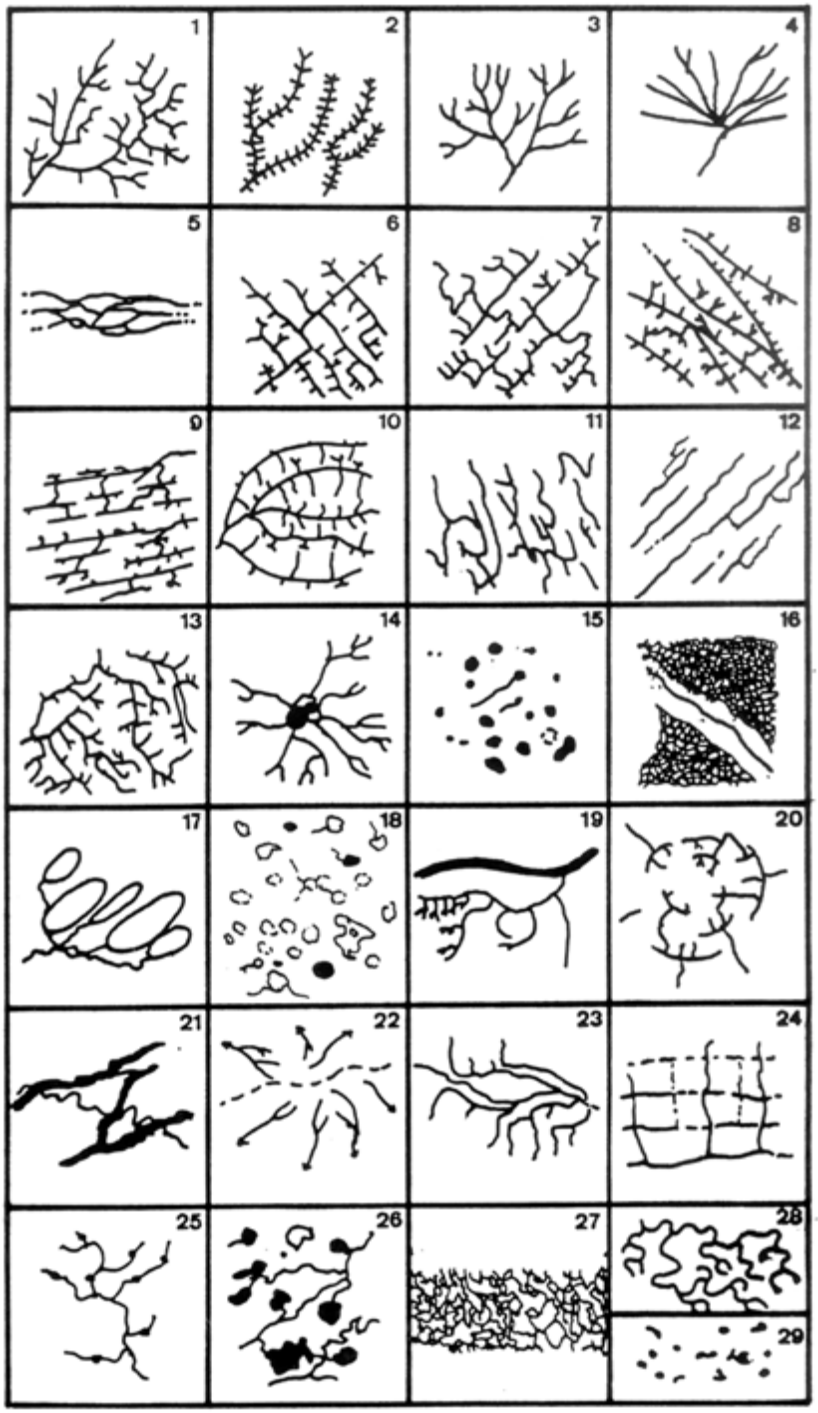
matériaux fragiles ;

- distributaire (ou dichotomique) (3 et 4) : caractérise les cônes alluviaux et les deltas.



(D) Dendritique
(T) Treillis
(P) Parallèle
(R) Rectangulaire
(Ra) Radial
(A) Annulaire
(M) Mulitbassins
(Co) Contourné

Figure 2-6 : Classification descriptive : types de base du réseau hydrographique



1. sub-dendritique
2. penné
3. dichotomique
4. distributaire
5. *tressé*
6. sub-treillis
7. treillis directionnel
8. treillis de faille
9. treillis de joints
10. treillis recourbé
11. sub-parallèle
12. colinéaire
13. angulaire
14. centripète
15. *karstique*
16. *thermokarstic*
17. *étiré*
18. *glaciaire*
19. *irrégulier*
20. composé
21. palimpseste
22. palimpseste
23. *yazoo*
24. *anthropogénique*
25. *dérangé*
26. complexe
27. *réticulé*
28. *entéromorphe*
29. *amorphe*

NB : les types en italique ne sont pas explicités

Figure 2-7 : Classification descriptive : types modifiés de réseau hydrographique

2.2.1.2. Type en treillis (T):

Ce type est caractéristique des roches sédimentaires, volcaniques ou faiblement métamorphiques, ayant un pendage net ou des zones de fractures parallèles ou des loess1 ou des fonds marins à découvert, striés de cordons littoraux.

Toutes les transitions sont possibles avec le type parallèle. Ce type de drainage est défini comme l'un de ceux où les petits affluents ont essentiellement la même importance de part et d'autre de longs fleuves subséquents.

Types modifiés :

- sub-treillis (6) : correspond aux formes des reliefs allongés ;
- treillis directionnel (7) : caractérise des monoclinaux modérés ;
- treillis de faille (8) : fréquent dans les régions affectées de failles grossièrement parallèles, divergentes, convergentes ou ramifiées ;
- treillis de joints (9) : caractérise des zones où les failles sont parallèles ou bien met en valeur les joints des roches ;
- treillis recourbé (10) : sur un substrat plissé où les axes des plis ont un prolongement net.

2.2.1.3. Type parallèle (P):

Ce type indique généralement une pente moyenne à forte, mais peut également se trouver dans les régions à structure topographique allongée et parallèle. Toutes les transitions sont possibles également entre ce type et le type dendritique en treillis.

Types modifiés :

- sub-parallèle (11) : traduit une pente intermédiaire ou un contrôle par des formes topographiques parallèles ;

- colinéaire (12) : fréquent entre les crêtes de sable ou de loess.

2.2.1.4. Type rectangulaire (R):

Il s'établit sur un substrat où les joints de failles se croisent à angle droit ; il lui manque l'ordonnancement de type treillis. Les fleuves et les lignes de partage des eaux masquent la continuité régionale.

Types modifiés :

- angulaire (13) : caractérise des joints ou des failles et se coupent suivant des angles non droits. Il est fréquent de rencontrer un type mélangé angulaire et rectangulaire.

2.2.1.5. Type radial (Ra):

Il est fréquent sur les volcans, les dômes, il est possible de définir un type multiradial dans le cas de drainage radial complexe en terrain volcanique.

N.B. : On va trouver là les réseaux liés à la présence d'un dôme tectonique tardif.

Types modifiés :

- centripète (14) : caractérise les cratères, les caldeiras et les autres dépressions. On peut également rencontrer des zones de drainage multi-centripète.

2.2.1.6. Type annulaire (A):

Il draine les dômes et les bassins structuraux. Les affluents longs des fleuves subséquents circulaires indiquent généralement la direction du pendage et permettent de distinguer les dômes des bassins.

2.2.1.7. Type contourné (Co):

Ce type se trouve sur des roches contournées, grossièrement litées, métamorphiques. Les dykes, les veines et les zones migmatisées1 y forment des couches dures par endroit. Ce type de drainage diffère du type en treillis recourbé par l'absence d'ordonnancement régional, la discontinuité des reliefs et des vallées et l'échelle en général plus faible. Les affluents les plus longs des fleuves subséquents courbes indiquent en général le pendage de roches métamorphiques et plongements anticlinaux et synclinaux.

2.2.1.8. Types divers :

- composé (20) : présentant deux types (ou plus) de drainages contemporains dans la même zone ;

- palimpseste (21 et 22) : où un drainage ancien, abandonné, d'un certain type, est recoupé par un drainage récent, actif de type différent ;

- complexe (26) : correspond à un agrégat de type dissemblable reflétant différents contrôles structuraux dans des zones voisines.

2.2.1.9. Conclusion

Il convient de noter que dans cette classification des réseaux, la distinction n'est jamais clairement faite entre ce qui ressort de la structure géologique et ce qui est du domaine des formes; l'existence d'un réseau de type rectangulaire suppose, par exemple, non seulement un réseau de joints ou de diaclases, mais aussi l'installation de ce même réseau sur une surface de départ qui peut être structurale (revers de côte par exemple) mais aussi d'érosion.

3.1. La hiérarchisation d'un réseau hydrographique

(*Sébastien LE PAPE , « analyse et quantification du réseau hydrographique ; Le réseau hydrographique comme objet vectoriel », 1998, pp 14-16*)

Un observateur étudiant la structure du réseau hydrographique ressent intuitivement le besoin de classer, suivant une certaine hiérarchie, les différents cours d'eau composant l'arborescence de la rivière.

Ainsi la hiérarchisation d'un réseau revient-elle à attribuer un numéro (ordre ou magnitude) à chaque tronçon selon une codification. Plusieurs codifications sont proposées dans la littérature et présentent un intérêt plus ou moins grand suivant l'objectif fixé ; nous ne présenterons ici que les principales hiérarchisations.

Depuis J. Playfair (1800), initiateur des études sur le réseau hydrographique, de nombreux auteurs comme Horton (1945) ou Strahler (1952) ont hiérarchisé les réseaux hydrographiques. Voici, ci-dessous, un bref panorama présenté par Deffontaines Benoît1, des principales hiérarchisations classiquement retenues et ayant une signification hydrologique et géologique.

3.1.1. Les différentes hiérarchisations

Les premières hiérarchisations ont comme origine le niveau de base général (l'océan). Il s'agit des classifications des hydrogéologues. La révolution occasionnée par la hiérarchisation d'Horton fut d'inverser la numérotation et d'attribuer aux sources les ordres les plus faibles.

3.1.1.1. Gravelius (1914)

"According to this system, the largest river is considered to be of first order from source to mouth.

The tributaries flowing directly into it are of second order, ail streams flowing into a second order tributary are of third order, and so on down to the smallest stream"1.

3.1.1.2. Duffar

La hiérarchisation de Gravelius a été améliorée en prenant en compte des niveaux de base relatifs.

Le nombre de cours d'eau est égal au nombre de confluence + 1. Chaque bras multiple est compté comme un cours d'eau ainsi que les rives des quelques rares lacs.

3.1.1.3. Horton

Dès 1945, Horton s'intéresse à cette question et développe une méthode pour classifier (Cf. Figure 3-1).

En fait, il s'est aperçu que des règles ou des lois statistiques organisent les réseaux hydrographiques, et il en a déduit qu'une hiérarchisation était nécessaire.

La hiérarchisation faite par Horton est la suivante, elle se décompose en deux étapes :

1ère étape : attribuer à chaque segment du réseau un numéro ou un ordre, pour cela Horton procède comme suit :

- tout tronçon sans affluent est d'ordre ***1 ;***

- toute confluence de segments d'ordre identique donne un segment d'ordre supérieur qui reçoit des affluents d'ordre inférieur.

2nde étape : Redistribuer les ordres en fonction des longueurs des segments :

- il faut alors "remonter" le réseau en donnant l'ordre supérieur au segment le plus long.

3.1.1.4. Strahler (1952)

En 1952, Strahler poursuit ces études. Il adapte les lois statistiques proposées par Horton à sa propre classification (Cf. Figure 3-1).

Le principe de classification qu'il énonce est le suivant : il définit un bief1 comme étant un segment de cours d'eau.

- tout bief sans affluent est d'ordre ***1***

- tout bief formé par la confluence de deux biefs d'ordre ***n*** est d'ordre ***n+1***

- tout bief formé par la confluence de deux biefs d'ordre différent prend l'ordre du bief le plus élevé

Le défaut des classifications exposées ci-dessus est de ne pas prendre en compte les cours de petits ordres qui se jettent dans les ordres supérieurs ; les auteurs suivants essayèrent de pallier cet inconvénient.

3.1.1.5. Rhzanitsyn (1960):

Il s'agit des mêmes équations que la hiérarchisation de Strahler (1952), mais avec une restriction.

Lorsque un cours d'eau d'ordre "i" reçoit consécutivement deux affluents d'ordre "n", tel que "n<i" alors la rivière principale devient, en aval du second affluent, d'ordre (i+1).

3.1.1.6. Scheiddegger (1965)

La hiérarchisation de Scheiddegger (1965) additionne les ordres des affluents à chaque confluence, elle est construite à partir de chiffres pairs en attribuant un ordre 2 aux biefs ordinairement d'ordre1.

3.1.1.7. Shreve (1967)

Pour ses travaux, Shreve s'inspire des études d'Horton et de Strahler et propose une nouvelle classification (Cf. Figure 3-1).

Dans cette classification, il définit le réseau hydrographique comme étant une arborescence composée de segments qui peuvent être intérieurs ou extérieurs, avec chacun leur magnitude (Shreve a préféré le terme de magnitude à ordre) :

- les tronçons sont ***intérieurs*** lorsqu'ils relient deux confluences successives dans l'arborescence ;

- ils sont ***extérieurs*** lorsqu'ils relient les sources aux premières confluences en aval.

Dans un second temps, il précise d'avantage sa classification en donnant des numéros (magnitudes) à chaque bief, il procède selon la règle suivante :

- tout bief extérieur est de magnitude 1 ;

- tout bief formé par la confluence de deux biefs de magnitudes ***n et n'*** est de magnitude ***n+n' (la somme des magnitudes des segments en amont).***

Finalement, on s'aperçoit que la magnitude du bief exutoire correspond aux nombres de sources du bassin versant.

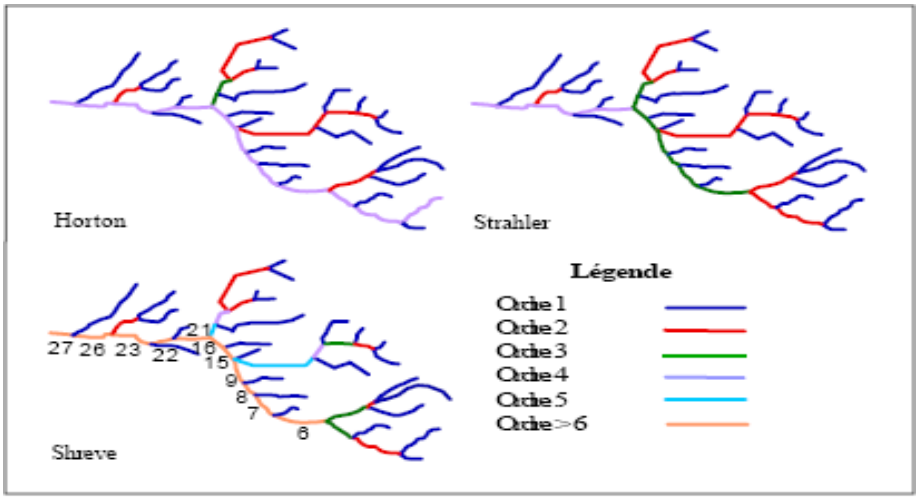


Figure 3-1 : Les différentes hiérarchisation

Annexe 4 : Grille multi usage des critères d'appréciation globale de la qualité de l'eau

	Classe de qualité				
Paramètres physico-chimiques	**1A**	**1B**	**2**	**3**	**Hors classe**
Température (°C)	≤ 20	20 à 22	22 à 25	25 à 30	> 30
Conductivité (µs/cm)	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000	> 3000
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	5,5-9,5	≤ 5,5 ou ≥ 9,5
O_2 dissous (mg/L)	≥ 7	5 à 7	3 à 5	< 3	
MES (mg/L)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30 à 70	< 70
Turbidité (NTU)	≤ 5	≤ 5	5 à 30	30 à 50	> 50
DBO5 (mg/L)	≤ 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25	25
DCO (mg/L)	≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80	> 80
Oxydabilité	< 3	3 à 5	5 à 8	> 8	-
Azote Kjeldhal (NTK)	≤ 1	1 à 2	2 à 3	> 3	-
Ortho phosphates (PO_4^{3-})	< 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
Phosphore total	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 0,6	0,6 à 1	> 1

Source : BEAUX, 1998

MES = Matières en Suspension, DBO = Demande Biochimique en Oxygène, DCO = Demande Chimique en Oxygène.

Classe1A : eaux exemptes de pollution.

Classe1B: d'une qualité légèrement moindre, ces eaux peuvent néanmoins satisfaire tous les usages.

Classe 2 : la qualité est passable : suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé. L'abreuvage des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement mais sa reproduction est aléatoire. Les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.

Classe 3: la qualité est médiocre : juste apte à l'irrigation, au refroidissement et à la navigation. La vie piscicole peut subsister dans ces eaux mais cela est aléatoire.

Classe 4: eaux considérées comme inaptes à la plupart des usages et peuvent constituer une menace pour la santé publique et l'environnement.

GRILLE MULTI-USAGES DE L'AGENCE DE L'EAU

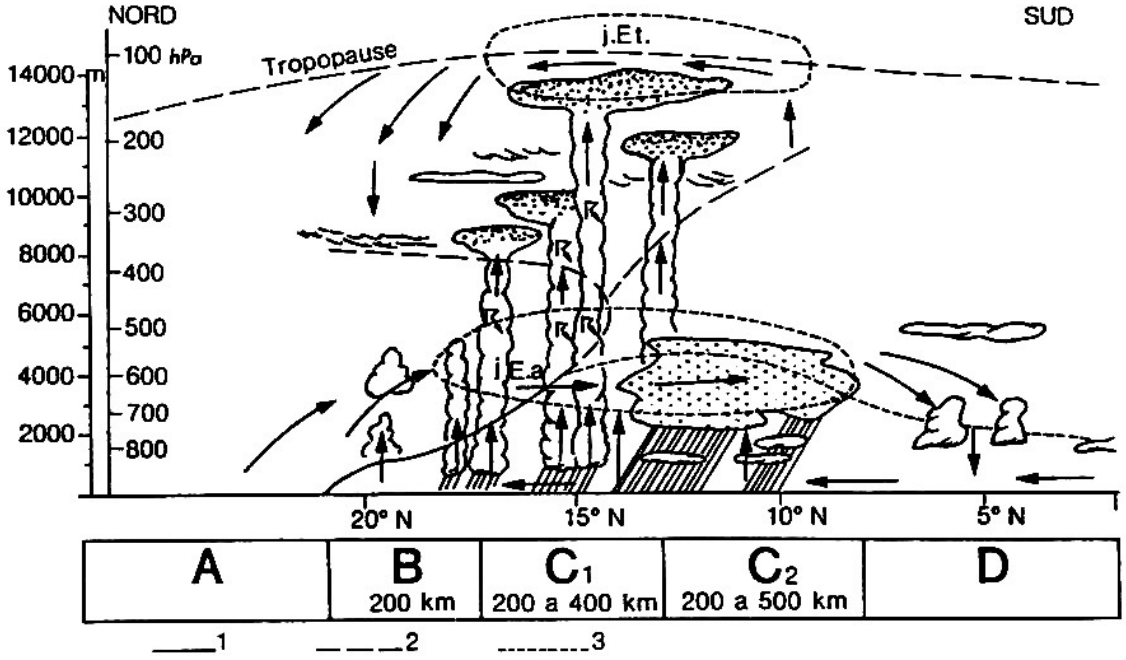
REFERENCE GRILLE: BASSIN ADOUR GARONNE

DATE D'EDITION : 28/08/90

PARAMETRES			1A		1B		2		3		H.C	
CONDUCT.A 20C	MICRO S/CM		...	400		750		1500		3000	> 1000	
CHLORURES	CL-	MG/L	...	100		200		400		1000	> 1000	
TEMPERATURE EAU	DEGRE C		...	20		22		25		30	> 30	
PH			(6.5	8.5)	----	----	(6,0...( ).. 9,0)		(5,5...( ).. 9,5)		(0,0...( )..14,0)	
OXYGENE DISSOUS		MG/L	7	...	5		3		< 3		----	----
TAUX SATURATION EN OZ		%	90	...	70		50		< 50		----	----
DBO5		MG/L	...	3		5		10		25	> 25	
OXYDAB.XMNO4 A FROID		MG/L	...	3		5		8	> 8		----	----
DCO		MG/L	...	20		25		40		80	> 80	
M.E.S.		MG/L	...	30	----	----	----	----		70	> 70	
CHLOROPHYLLE A		MICRO G/L	...	10		60		120		300	> 300	
AMMONIAQUE	NH4+	MG/L	...	0.1		0.5		2		8	> 8	
NITRATES	NO3-	MG/L	...	5		25		50		80	> 80	
AZOTE KJELDAHL		MG/L	...	1		2		3		10	> 10	
PHOSPHORE TOTAL		MG/L	...	0.1		0.3		0.6		1	> 1	
PHOSPHATES	PO4---	MG/L	...	0.2		0.5		1		2	> 2	
NITRITES	NO2-	MG/L	...	0.1		0.3		1		2	> 2	
FER TOTAL	FE	MG/L	...	0.5		1		1.5	> 1.5		----	----
MANGANESE	MN	MG/L	...	0.1		0.25		0.5	> 0.5		----	----
CUIVRE	CU	MG/L	...	0.02		0.05		1	> 1		----	----
ZINC	ZN	MG/L	...	0.5		1		5	> 5		----	----
ARSENIC	AS	MG/L	...	0.01	----	----		0.05	> 0.05		----	----
CADMIUM	CD	MG/L	...	0.001	----	----	----	----	> 0.001		----	----
CHROME TOTAL	CR	MG/L	...	0.05	----	----	----	----	> 0.05		----	----
CYANURE	CN-	MG/L	...	0.05	----	----	----	----	> 0.05		----	----
PLOMB	PB	MG/L	...	0.05	----	----	----	----	> 0.05		----	----
SELENIUM	SE	MG/L	...	0.01	----	----	----	----	> 0.01		----	----
MERCURE	HG	MG/L	...	0.0005	----	----	----	----	> 0.0005		----	----
FLUOR	F	MG/L	...	0.7		1.7	----	----	> 1.7		----	----
SUBST.EXTRAC.CHLORO.		MG/L	...	0.2		0.5		1	> 1		----	----
COMPOSES PHENOLIQUES		MG/L	...	0		0,001		0,05		0,5	> 0.5	
DETERGENTS ANIONIQUES		MG/L	...	0.2	----	----		0.5	> 0.5		----	----
COLIFORMES FECAUX		N/100ML	...	20		2000		20000	> 20000		----	----
COLIFORMES TOTAUX		N/100ML	...	50		5000		50000	> 50000		----	----
STREPTOCOQUES FEC.		N/100ML	...	20		1000		10000	> 10000		----	----
IND REFERENCE-IND BIOTIQUE			...	1		3		5		7	> 7	
INDICE BIOLOGIQUE GLOBAL			17	...	13		9		5		< 5	

USAGE DE L'EAU	EXCELLENTE	BONNE	PASSABLE	MEDIOCRE	MAUVAISE
EAU POTABLE	TRAITEMENT SIMPLE	TRAITEMENT NORMAL	TRAITEMENT POUSSE	INTERDIT	
ABREUVAGE DES ANIMAUX	OUI	OUI	TOLERE	INTERDIT	INAPTE AUX
NAVIGATION	OUI	OUI	OUI	OUI	DIVERS USAGES
NAUTISME ET BAIGNADE	OUI	OUI	EXEPTIONNEL	INTERDIT	
IRRIGATION	OUI	OUI	OUI	EVENTUELLEMENT	
VIE PISCICOLE	OUI	OUI	REPRO. ALEATOIRE	SURVIE ALEATOIRE	
EAU INDUSTRIELLE	OUI	OUI	OUI	POUR REFROIDIS.	

<u>Annexe</u> 5 : *Coupe schématique nord-sud en août de la troposphère au-dessus de l'Atlantique vers le méridien origine.*



Source : B. Fontaine (1990)

1= Front intertropical (FIT) ; 2= Limite inférieure de l'air équatorial d'altitude ; 3= Limite supérieure de la mousson ; J.E.a.= Jet d'Est africain (AEJ) ; j.E.t.= Jet d'Est tropical (TEJ). Zones de temps : A = zone sans pluie ; B= zone avec des orages isolé ; C1= zone où dominent les lignes de grains ; C2= zone où dominent les pluies de mousson. D = zone avec des pluies réduites. Les flèches schématisent les flux et en particulier les mouvements de convection ou de subsidences des masses d'air (d'après Detwiller, 1965 ; Flohn, 1965 ; Leroux, 1970 ; Burpee, 1972 ; Dhonneur, 1974 ; cités par Maley, 1981 et Olivry, 1986).

Annexe 6: Résultats du test de significativité de la différence des moyennes et des tendances pluviométriques dans les HER de l'Atacora et de Gourma

Test de significativité de la différence des moyennes pluviométriques dans les HER de l'Atacora et de Gourma

	HER-Atacora (station de Natitingou)	HER-Gourma (station de Tanguieta)
Nombre d'années	46	
Minimum	866,723	690,994
Maximum	1768,200	1508,600
Moyenne	1231,247	1068,519
Ecart-type	206,808	174,580
T	4,078	

L'hypothèse H0 : La différence entre les moyennes est nulle (H0 = 0).

L'hypothèse Ha : La différence entre les moyennes est différente de 0 (Ha ≠ 0).

Le résultat de la statistique de Student donne T = 4,078, ce qui est supérieur à 1,96 au seuil de 5% et 2,57 au seul de 1%. D'où l'hypothèse H0 est rejetée et par conséquent, les deux séries ont des moyennes significativement différentes.

Résultats du test de significativité des tendances pluviométriques dans les HER de l'Atacora et de Gourma

	HER-Atacora (station de Natitingou)	HER-Gourma (station de Tanguieta)
$N_{1(1961\text{-}1975)}$	15	15
$N_{2(1976\text{-}2006)}$	31	31
$\overline{X}_{1(1961\text{-}1975)}$	1348,14	1131,78
$\overline{X}_{2(1976\text{-}2006)}$	1174,69	1037,91
$\sigma_{1(1961\text{-}1975)}$	232,37	174,96
$\sigma_{2(1976\text{-}2006)}$	169,76	168,71
U	**2,58**	**1,73**

Hypothèse H0 : La tendance dans la série n'est pas significative

Hypothèse Ha : La tendance dans la série est significative

Le résultat de la statistique de Student donne U = 2,58 pour la station de Natitingou ; ce qui est supérieur à 1,96 au risque de 5%. D'où l'hypothèse H0 est rejetée et par conséquent, la tendance à la baisse des pluviosités observée dans l'HER de l'Atacora est significative.

A la station de Tanguieta, U = 1,73 ; ce qui est inférieur à 1,96 au seuil de 5%. D'où l'hypothèse H0 *n'*est rejetée et par conséquent, la tendance à la baisse des pluviosités observée dans l'HER de Gourma n'est significative.

Ce qui nous amène à émettre l'hypothèse que les pluviométries observées dans le bassin versant de la Pendjari en générale sont dominées par celles de l'HER de l'Atacora. Cette hypothèse est confirmée par le diagramme de dominance de pluviosité entre les données de la station de Natitingou et de la station de Tanguiéta (figure 23).

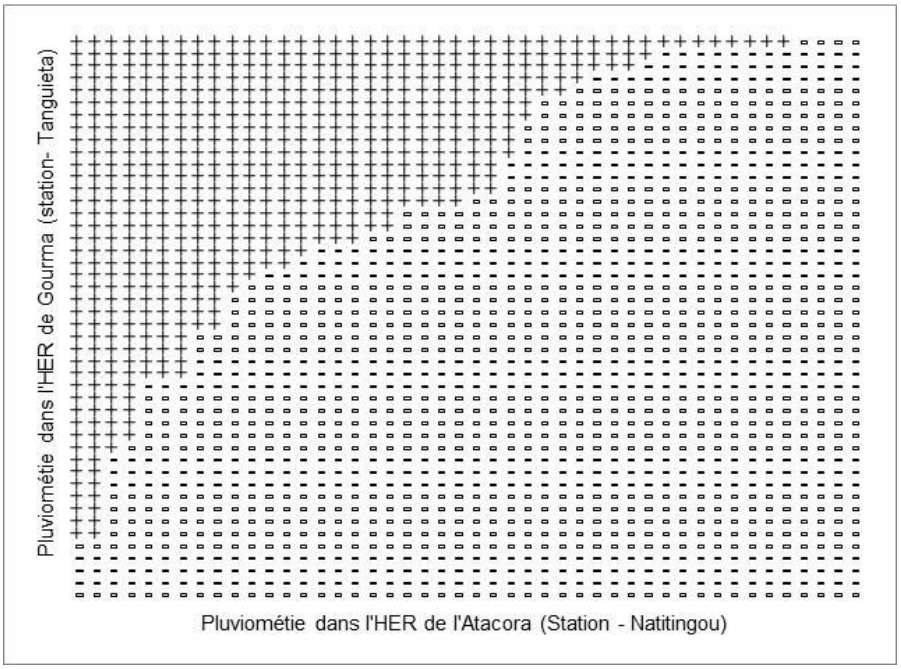


Figure : *Diagramme de dominance de pluviosité entre l'HER de Gourma et l'HER de l'Atacora*

Annexe 7: Espèces animales de la RBP figurant dans les annexes de la CITES

Annexe 7a : Espèces animales de la RBP figurant dans les annexes de la CITES		
Annexe 1	**Annexe 2**	**Annexe 3**
Mammifères	**Mammifères**	**Mammifères**
Eléphant (Loxodonta africana)	Hippopotame (Hippopotamus amphibius)	Porc-épic crête
Damalisque (Damaliscus korrigum)	Buffles (Tous les syncerus)	**Oiseaux**
Sitatunga (Limnotragus spekei)	Hippotragues (Antilope cheval ou Koba) (Hippopotragus equinus)	Héron goliath (Ardea goliath)
Guépard (Acinonyx jubatus)	Bubale (Alcelaphus buselaphus)	Héron garde-bœuf (Bubulcus ibis)
Léopard (Panthera pardus)	Cobe Defassa (Cobe onctueux ou waterbuck) (Kobus defassa)	Dendrocyne veuf (Dendrocygna viduata)
Lycaon ou (Lycaon pictus)	Cobe de buffon (Kobus kob)	Sarcelle ou Souchet à oreilleons (Nettapus auritus)
Caracal (Felis caracal)	Cobe redunca (Redunca redunca)	Oie de Gambie (Plectropterus gambensis)
Ratel (Mellivora capensis)	Guib hanarché (Tragelaphus scriptus)	Pintade commune (Numida meleagris)
Mangoustes (toutes les espèces) (Hespectines)	Lion (Panthera leo)	Pigeon à épaulettes violettes (Treron waalia)
Genette tigrines (Genetta tigrina)	Galago du Sénégal (Galago senegalensis)	Pigeon vert à front nu (Treron australis)
Oryctérope (Orycteropus afer)	Colobes (Colubus polykomos) (Forêt de Bondjagou)	Tourtelle à collier (Streptopelia semitorquata)
Pangolins (toutes les espèces) (Hyracoides)	Cercopitheques (sauf les cynocéphales) (Cercopithecides, Cercopothecus mona)	Tourtelle vineuse (Streptopelia vinacea)
Oiseaux	Roussettes (tous les espèces) (Pteropus spp)	Emerauldine à bec rouge (Turtur abyssinicus)
Tous les vautours (Aegypiridae spp)	**Oiseaux**	Serin de Mozambique (Serinus mozambicus)
Tous les rapaces nocturnes (Ducs, hiboux, chouettes) (Strigidae spp)	Hérons (toutes les espèces)	Amarante commun (Lagonosticta senegala)
Messager serpentaire (Sagittarius serpentarius)	Aigrettes (toutes les espèces)	Amarante masqué (Lagonosticta larvata)
Bec en sabo (Balaeniceps rex)	Pélicans (Pelicanides)	
Jaribu du Sénégal (Ephippiorhynchus senegalensis)	Cormoran (Phalacrocorax africanus)	
Cigogne épiscopale (Ciconia episcopus)	Perroquets	
Grand Calao d'Abyssinie (Bucorvus abyssinicus)		

Marabout (Leptoptilus crumeniferus) Grues Couronnées (Balearica pavonina) Ibis (Threskiorinithidae) Outardes (toutes les espèces) (Otitadaes spp) **Reptiles** Crocodiles (Crocodylus niloticus, C. cataphractus, Osteolaemus tetrapis) Boa (Python molurus molurus) **Amphibien** Bufo superciliaris	Aigles Outardes Jacko (Psittacus erithaeus) Perruche à collier (Psittacula krameri) Youyou (Poicephalus senegalus) Touraco vert (Touraco persa) Poule sultan (Porphyrio porphyrio) **Reptiles** Python royal (Python regius) Python gros (Python sebae) Varan d'eau (Varanus niloticus Varan des savanes (Varanus exanthematicus) Gecko (Gekko gecko) Tortues d'eau (Dermatemys mawii, Clemnys insculpta, Testudinidae spp) **Amphibiens** Crapauds (Bufo retiformis, Dendrobate spp, Phyllobates spp)	

Source : Plan d'Aménagement Participatif et de Gestion de la Réserve de Biosphère de la Pendjari, Décembre 2005

Annexe 7b : Espèces végétales de la RBP figurant dans les annexes de la CITES	
Annexe 1	**Annexe 2**
Karité (*Butyrospermum paradoxum*)	Euphorbe (*Euphorbia unispina*)
Ceilcedra (*Khaya senegalensis*)	Aloe (*Aloe buettneri*)
Kapokier (*Bombax costatum, B. buenopozense*)	Orchidées (tous les espèces) (*Orchidaceae*)
Fraké (*Terminalia superba*)	
Lingué (*Afzelia africana*)	
Vêne (*Pterocarpus erinaceus*)	
Vitex (*Vitex doniana*)	
Néré ou Nété (*Parkia bilobosa*)	
Isoberlinia (*Isoberlinia doka*)	
Berlinia (*Berlinia grandiflora*)	
Syzygium (*Syzygium guineense var. macrocarpum*)	
Colatier (*Cola laurifolia*)	
Daniellia (*Daniellia oliveri et D. ogea*)	
Faux ébène (*Diospyros mespiliformis*)	
Anogeissus (*Anogeissus leicarpus*)	
Prunier mombin (*Spondias mombin*)	
Ronier (*Borassus aethiopum*)	
Gao (*Acacia albida*)	
Prosopis (*Prosopis africana*)	
Mytragina (*Mytragina inermis et M. ciliata*)	
Albizzia (*Albizzia chevalieri*)	
Oxythenanthera (*Oxythenanthera abyssinica*)	
Bambou (*Bambus vulgaris*)	

Source : *Plan d'Aménagement Participatif et de Gestion de la Réserve de Biosphère de la Pendjari, Décembre 2005*.

Les annexes I, II, III de la CITES sont des listes où figurent des espèces bénéficiant de différents degrés ou types de protection face à la surexploitation.

Les espèces inscrites à l'Annexe I sont les plus menacées de toutes les espèces animales et végétales couvertes par la CITES. Etant menacées d'extinction, la CITES en interdit le commerce international de leurs spécimens sauf lorsque l'importation n'est pas faite à des fins commerciales mais, par exemple, à des fins de recherche scientifique.

L'Annexe II est la liste des espèces qui, bien que n'étant pas nécessairement menacées actuellement d'extinction, pourraient le devenir si le commerce de leurs spécimens n'était pas étroitement contrôlé.
L'Annexe III est la liste des espèces inscrites à la demande d'une Partie qui en réglemente déjà le commerce et qui a besoin de la coopération des autres Parties pour en empêcher l'exploitation illégale ou non durable. Le commerce international des spécimens des espèces inscrites à cette annexe n'est autorisé que sur présentation des permis ou certificats appropriés.

Annexe 8 : Questionnaire

Table des Matières

Dédicace 1
Sommaire 2
Remerciements 3
Sigles et acronymes 4
Résumé 6
Abstract 7
INTRODUCTION GENERALE 8
CHAPITRE 1 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE 13
Introduction partielle 14
1-1- Présentation géographique du secteur d'étude 14
1-2- Description du milieu physique du bassin versant de la Pendjari 16
1-2-1- Caractéristiques topographiques majeures du bassin versant de la Pendjari 16
1-2-2- Réseau hydrographique du bassin versant béninois de la Pendjari 18
1-2-3- Caractéristiques géologiques du bassin de la Pendjari 20
1-2-4- Principaux types de sol et de végétation dans le bassin versant de la Pendjari 21
1-2-5- Fondement climatique du bassin versant de la Pendjari 25
1-3- Description du milieu humain 29
1-3-1- Démographie du bassin versant de la Pendjari 29
1-3-2- Peuplement et habitat dans le bassin versant béninois de la Pendjari 30
1-3-2-1- Peuples (les groupes socioculturels) du bassin versant béninois de la Pendjari 30
1-3-2-2- Peuplement (origines et installation des peuples) 30
1-3-2-3- Types d'habitats dans le bassin versant béninois de la Pendjari 32
1-3-3- Caractéristiques socio-économiques du bassin versant de la Pendjari 34
Conclusion partielle 37
CHAPITRE 2 : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE 39
Introduction partielle 39
2-1- Cadre théorique 40
2-1-1- Problématique 40
2-1-2- Hypothèses de la recherche 42
2-1-3- Objectifs de la recherche 42
2-1-4- Point des connaissances 43
2-1-5- Clarification des concepts 45
2-2- Cadre méthodologique 52

2-2-1- Données 52
2-2-1-1- Données sur le relief et l'hydrographie 52
2-2-1-2- Données sur la géologie 52
2-2-1-3- Données sur la pédologie 52
2-2-1-4- Données sur le climat 52
2-2-1-5- Données hydrométriques 53
2-2-1-6- Données sur la dynamique des écosystèmes naturels 54
2-2-2- Outils de collecte et de traitement des données 54
2-2-2-1- Outils de collecte des données 54
2-2-2-2- Outils de traitement des données 54
2-2-3- Méthodes de collecte et de traitement des données 54
2-2-3-1- Méthode de collecte des données 54
2-2-3-2- Méthode de traitement des données 58
2-2-3-3- Méthode de cartographie des hydro-écorégions 71
2-2-3-4- Méthode de caractérisation des hydro-écorégions 76
2-2-3-5- Méthode d'analyse des déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels 80
2-2-3-6- Méthode de la détermination du débit écologique 84
Conclusion partielle 85
CHAPITRE 3 : LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI .. 86
Introduction partielle 87
3-1- Hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 87
3-1-1- Hydro-écorégions à partir des critères géologiques 89
3-1-2- hydro-écorégions à partir des critères de relief 90
3-1-3- Hydro-écorégions à partir des critères climatiques 91
3-2- Caractéristiques des hydro-écorégions identifiées 92
Conclusion partielle 98
CHAPITRE 4 : ANALYSE DES DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LES HYDRO-ECOREGIONS DU BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI 99
Introduction partielle 100
4-1- Déterminants environnementaux de la dynamiques des écosystèmes naturels 100
4-1-1- Déterminants hydro-climatiques 100
4-1-1-1- Variabilité climatique dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari . 101
4-1-1-2- Variabilité hydrologique dans les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari 115

4-1-2- Déterminants géophysiques de la dynamique des écosystèmes naturels 121
4-1-2-1- Substratum géologique et écoulement des eaux 121
4-1-2-2- Influence du relief sur l'écoulement et dynamique des écosystèmes naturels..... 122
4-1-2-3- Sols et écoulement des eaux des hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari124
4-2- Déterminants socio-économiques de la dynamique des écosystèmes naturels..... 124
4-2-1- Analyse de la dynamique des écosystèmes naturels dans le bassin de la Pendjari 124
4-2-2- Déterminants socio-culturels 136
4-2-3- Déterminants économiques..... 142
Conclusion partielle..... 146
CHAPITRE 5 : STRATEGIES D'ADAPTATION A LA DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES NATURELS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA PENDJARI..... 147
Introduction partielle 148
5-1- Stratégies endogènes..... 148
5-1-1- Adaptation aux contraintes climatiques..... 148
5-1-2- Adaptation aux contraintes hydriques 149
5-1-2-1- Aménagement des mares et sources 149
5-1-2-2- Réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau, ... 151
5-1-2-3- Creusement de puits et/ou forage équipé de pompe 152
5-1-2-4- Réalisation des surcreusements ou des barrages..... 152
5-1-3- Adaptation aux contraintes pédo-géologiques..... 153
5-1-3-1- Adoption de nouvelles variétés de cultures 153
5-1-3-2- Augmentation des emblavures..... 154
5-1-3-3- Semis échelonné et semis répété..... 154
5-1-3-4- Association des cultures..... 155
5-1-3-5- Utilisation d'engrais..... 156
5-1-4- Stratégies de contrôle et de maîtrise de l'eau de ruissellement 156
5-1-4-1- Dispositif en nids d'abeilles 156
5-1-4-2- Technique de cordons pierreux ou cultures en terrasses..... 157
5-1-4-3- Billonnage cloisonné..... 158
..... 159
5-1-4-4- Billons perpendiculaires et parallèles à la pente 160
5-1-4-5- Canaux d'évacuation et de retenue d'eau..... 162
5-2- Mesures réglementaires et institutionnelles de la gestion durable des écosystèmes naturels dans les hydro-écorégions du bassin versant de la Pendjari 164

5-2-1- Textes réglementaires de la gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari 164
5-2-2- Institution de la gestion durable des écosystèmes naturels du bassin versant de la Pendjari 167
Conclusion partielle..... 170
CONCLUSION GENERALE 171
Bibliographie 175
Table des figures 192
Table des tableaux 194
Table des photos et Planches..... 195
Annexes 196
_Toc342432332