

UNIVERSITE DE LOME
FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES
ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
«Espace, Langues, Cultures du Monde Négro-Africain»



Laboratoire de Recherches
Biogéographiques et d'Etudes
Environnementale



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES
ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
«Espaces, Cultures et Développement»



Laboratoire de
Biogéographie et d'Expertise
Environnementale



THESE

Présentée par

Jean Bosco Kpatindé VODOOUNOU

Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LOME ET DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
Option : Géographie et Gestion de l'Environnement
Spécialité : Gestion des Ressources Naturelles, Aménagement du Territoire et
Politique Environnementale

Titre :

Les systèmes d'exploitation des ressources naturelles et leurs impacts sur les écosystèmes dans le bassin de la Sô au Bénin -Afrique de l'Ouest-

Sous la direction de :

Thiou T. K. TCHAMIE, Professeur Titulaire à l'Université de Lomé/Togo
Et de

Akpovi AKOEGNINOU, Maître de conférences à l'Université d'Abomey-Calavi

Jury :

Président: Brice A. SINSIN, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Rapporteurs: Thiou Tanzidani Komlan TCHAMIE, Professeur Titulaire, Université de Lomé, Togo
Akpovi AKOEGNINOU, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Examinateurs:

- 1- Adjima THIOMBIANO, Maître Conférences, Université de Ouagadougou, Burkina Faso
- 2- Lalle Richard LARE, Maître de Conférences, Université de Lomé, Togo

Juillet 2010

SOMMAIRE

DEDICACE	2
AVANT-PROPOS	3
RESUME	7
SUMMARY	8
INTRODUCTION GENERALE	11
INTRODUCTION, CADRE THEORIQUE, PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS, HYPOTHESES DE RECHERCHE, REVUE DE LITTERATURE, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET LIMITES DE L'ETUDE	11
PREMIERE PARTIE : CARACTERISTIQUES DU MILIEU D'ETUDE ET APPROCHES METHODOLOGIQUES.....	25
CHAPITRE 1 : MILIEU D'ETUDE ET TRAITS SOCIO-ECONOMIQUES	26
CHAPITRE 2 : MATERIEL, DONNEES ET METHODES.....	55
DEUXIEME PARTIE : DETERMINANTS BIOPHYSIQUES, SOCIO-ECONOMIQUES ET SYSTEMES D'EXPLOITATION DANS LE BASSIN DE LA SO	93
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA SO	94
CHAPITRE 4 : SYSTEMES D'EXPLOITATION DANS LE BASSIN DE LA So	150
TROISIEME PARTIE : ANALYSE ECOSYSTEMIQUE DES IMPACTS ET DISCUSSION.....	220
CHAPITRE 5 : ANALYSE ECOSYSTEMIQUE DES IMPACTS	221
CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET STRATEGIE DE GESTION DURABLE	248
CONCLUSION GENERALE	262
BIBLIOGRAPHIE	267
ANNEXES.....	287

DEDICACE

A mon feu père Ogoudédji VODOOUNOU

A ma feue maman Marie-Victoire ANIGNIKIN

A mon épouse Monique AMAHOWE

A mes enfants Opportune, Carl-Cyr Céphas et Jecymonia

AVANT-PROPOS

Le présent travail fait partie de l'une des préoccupations du Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE-UAC) et du Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales (LaRBE-UL) qui s'investissent dans l'étude de la dynamique des écosystèmes y compris ceux des zones humides. L'objectif visé est de mettre en évidence les potentialités de ces milieux et de déterminer toutes les formes de dégradation des ressources naturelles dues à la pression démographique croissante.

Le thème abordé, prend en compte tout le bassin de la Sô, depuis les environs de Bohicon ($7^{\circ}15'$ de latitude Nord) en passant par le lac Hlan où la rivière Sô s'individualise et prend sa source à la lisière du département du Zou dans la commune de Zogbodomey. Elle coule jusqu'au lac Nokoué. Ce travail est en effet, la poursuite des investigations entreprises depuis notre inscription en DEA où tout le bassin n'avait pas été pris en compte. A présent, nous abordons plus amplement l'étude dudit bassin et de façon plus détaillée.

Pour la réalisation de cette thèse, nous avons bénéficié du soutien financier du projet d'Appui à la Restructuration et à l'Harmonisation de l'Enseignement Supérieur (ARHES) qui a agi en lieu et place du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France au Bénin. Un autre appui financier est aussi venu du Projet OUEME-2025.

En dépit de tout, des difficultés sont survenues au cours des travaux. Elles ont pu être surmontées grâce à l'assistance et aux soutiens de nombreuses personnes à qui nous adressons toute notre gratitude.

Nous sommes particulièrement redevable à notre Directeur de thèse, le Professeur Thiou T. K. TCHAMIE, qui a manifesté un intérêt particulier pour cette étude en adressant un courrier aux autorités de l'Université d'Abomey-Calavi pour signifier l'importance qu'il accorde à cette recherche. Il nous a accueilli dans son laboratoire avec tous les soins possibles pour faciliter nos séjours à Lomé. Malgré ses multiples occupations, il a accepté de conduire à terme ce travail, avec une assistance financière. Nous tenons à lui exprimer toute notre profonde reconnaissance et notre titan-esque gratitude.

Nos remerciements vont également au Professeur Benoît N'BESSA, de l'Université d'Abomey-Calavi qui, malgré ses multiples occupations et son état de santé, a accepté de coordonner les débuts de nos travaux.

Notre reconnaissance va aussi au Professeur Akpovi AKOEGNINOU, Directeur de l'Herbier National du Bénin, qui a accepté sans conditions de codiriger ce travail malgré ces occupations. Son appui a été d'une utilité incommensurable pour la qualité scientifique du travail.

Tous les professeurs, de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire "Espaces, Cultures et Développement" de l'Université d'Abomey-Calavi, qui ont participé à notre formation sont ici remerciés. Nous pensons particulièrement au Professeur Michel BOKO qui n'a cessé de nous encourager et nous inciter à vite finir le travail. Son soutien lors du décès de notre maman, pendant que nous collections les données, est resté gravé dans notre tête et nous a galvanisé à chaque fois que nous nous rappelons ses propos aimables d'un père qui console son enfant. A cet égard nous lui témoignons notre profonde gratitude.

Nous remercions aussi toutes les autorités de l'Université de Lomé, en particulier le Président Koffi AHADZI-NONOU qui a émis un avis favorable pour notre inscription en thèse.

Nos remerciements vont également à l'endroit de toutes les autorités de l'Université d'Abomey-Calavi et, en particulier, le Recteur le Professeur Norbert Cossi AWANOU, qui n'a ménagé aucun effort pour nous appuyer auprès des responsables du Projet ARHES.

Notons que le soutien moral dont nous avons bénéficié de la part du Doyen et du Vice-Doyen de la FLASH, les Professeurs, Akanni Mamoud IGUE et Christophe Sègbè HOUSSOU, nous a été d'une grande importance. Nous leur exprimons nos remerciements.

Nous remercions le Professeur Brice SINSIN pour l'attention particulière qu'il a portée à ce travail. Il s'est toujours intéressé à son évolution et n'a jamais cessé de nous encourager.

Aussi, devons-nous notre évolution intellectuelle au Dr. Cossi Jean HOUNDAGBA du LABEE, qui a guidé nos premiers pas vers la recherche. Il est le

promoteur de cette étude. Il a défini le sujet et n'a cessé d'apporter un ferme soutien à son aboutissement. Nous lui adressons nos sincères remerciements.

Nous remercions également le Professeur Lalle Richard LARE qui n'a cessé de nous encourager au cours de nos séjours à Lomé. Il a été l'un des artisans du cadrage scientifique du travail. Ses observations scientifiques ont beaucoup contribué à la qualité de cette thèse.

Nous remercions aussi le Dr. François TCHIBOZO qui a accepté d'examiner nos travaux et de formuler des observations qui ont permis d'améliorer la version finale du présent document.

Nos remerciements vont aux collègues de Lomé, les Docteurs Ama-Edi KOUYA, Tchaa BOUKPESSI, et Messieurs Abdourazakou ALASSANE, Minkilabe DJANGBEDJA, Faya LEMOU et Awassatchikpalo TAGBA qui nous ont accueilli et soutenu lors de nos séjours au laboratoire. L'ambiance a toujours été très conviviale et pour cela nous témoignons notre gratitude.

De même, nos remerciements vont à tous les maîtrisards et mémorands du LaRBE qui nous ont aidé lors de nos séjours, il s'agit de : Zakariyao KOUMOI, Padawènam ASSOTI, Gnimdou KOKORIKO, Nanzirou ESSO, Mondane NAGBANTI, Nourindine TOUBAYE, Akossiwa AYITE, Alourou SEBABE, Koffi KPEDENOU.

Nous saluons nos camarades du Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale pour l'esprit d'entraide qui a caractérisé nos relations. Leurs soutien et encouragement ont permis de stimuler notre ardeur. Il s'agit des Docteurs Odile DOSSOU-GUEDEGBE, Brice TENTE, Vincent OREKAN, José GNELE, de Messieurs Norbert AGOÏNON, Mama DJAOUNGA, VISSOH Sylvain, Maurice AZANLIN, Félix DONOU.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Messieurs Djafarou ABDOULAYE, Martin ASSABA, Innocent GBAÏ, Mathieu EZIN, Ambroise AHOKPONOU et Auguste HOUINSOU pour avoir assuré le pont entre Lomé et Cotonou, pour tous nos besoins en données et informations. Ils ont consacré une partie de leur temps à notre écoute en nous envoyant les données dont nous avons besoin par mail.

Notre gratitude va aux membres du projet OUEME-2025 qui, de tout temps, nous ont soutenu. Nous pensons en particulier à Monsieur Arnaud ZANNOU coordonnateur du projet qui nous a aidé à effectuer les calculs statistiques et l'analyse des résultats obtenus. Il nous a apporté un appui financier pour nos travaux de terrain. Nous remercions également Messieurs Maurille AGOUA, Aurélien TOSSA, Antoine GOHOUNGOSSOU et Madame Armelle DOSSOU-YOVO pour leur encouragement.

Nous remercions le Professeur Euloge AGBOSSOU et le Dr. Luc O. SINTONDJI pour nous avoir encouragé et soutenu pour surmonter nos difficultés. Ils nous ont associé à des débats scientifiques relatifs à la gestion de l'eau dans un bassin versant ; ces réflexions nous ont beaucoup édifié pour l'analyse de nos résultats.

Toutes nos grattitudes vont à l'endroit du Représentant de l'IRD, qui a toujours le souci de nous voir vite évoluer. Il a soutenu notre candidature auprès du projet ARHES.

Nous disons merci à notre oncle ESSEOU Engelbert, Inspecteur de l'enseignement primaire à la retraite qui consacré son temps à lire ce document.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à notre épouse Monique AMAHOWE qui a accepté de se sacrifier pour nous. Elle nous a toujours encouragé et a beaucoup contribué à l'aboutissement de ce travail. Nous remercions aussi, nos enfants Opportune, Carl-Cyr Céphas et Jecymonia, qui dans leur naïveté ont soutenu le travail et ont souhaité que cela s'achève au plus tôt.

Aux membres du jury, nous adressons nos remerciements pour l'honneur dont ils nous gratifient en acceptant d'apprécier ce travail qui n'est qu'une œuvre humaine.

RESUME

Les systèmes d'exploitation des ressources naturelles dans le bassin de la Sô ont été étudiés et leurs impacts sur les écosystèmes évalués.

Les objectifs visés par cette étude sont de caractériser le bassin du point de vue biophysique et humain, d'analyser les différents systèmes d'exploitation mis en place par les populations et d'en déterminer les impacts. Les méthodes utilisées sont celles qui ont rapport à la détermination des paramètres géométriques du bassin. Les analyses hydrologiques, bathymétriques, sédimentologiques, granulométrique, diachroniques, toposéquentielles et démographiques ont permis d'obtenir un certain nombre de résultats. L'approche matricielle de Léopold a été utilisée pour évaluer les impacts des systèmes de production sur les écosystèmes.

Les résultats obtenus indiquent que le bassin de la Sô est un bassin allongé à relief globalement faible qui favorise un écoulement en nappe, endoréique et concentrique. Cette caractéristique favorise la stagnation de l'eau dans le bassin toute l'année. Dans le bassin la quantité d'eau qui s'écoule par an est en moyenne 2 619 763 921 m³. Cette quantité d'eau est presque perdue dans l'Océan Atlantique car aucun système de rétention n'est installé sur le bassin.

La dynamique sédimentaire est déficitaire de – 218221m³ dans le cours de la rivière, sur le plateau : 1,401 m³/an/ha de terre est érodée chaque année pour 8,473 m³/an/ha sur les versants et une accumulation de 9,922 m³/an/ha dans la plaine d'inondation. Les communautés végétales au Sud du bassin sont caractérisées par un gradient d'hydromorphie. Dans la partie Nord du bassin les espèces recensées montrent que la zone peut être caractérisée de zone forestière ; mais ces espèces sont pour la plupart sous forme de recrûs et d'arbustes.

Le bilan de la dynamique de la végétation entre 1978 et 1996 montre que les formations naturelles ont régressé de 65,57 % pour une stabilité de 32,65 % contre une reconstitution de 1,78 %. Entre 1996 et 2006, le bilan présente une régression de 78,53 % contre 20,65 % de stabilité et 0,82 % de reconstitution. Le bilan global sur la période de 1978 à 2006 indique un taux de régression de 55,89 % pour un taux de stabilité de 42,03 % et une progression de 2,08 %.

L'évolution modérée de la population impacte fortement sur les ressources du bassin, si bien que les sols des sommets de plateau sont lessivés pour une bonne part. Par contre, l'exploitation des ressources permet aux populations du bassin d'assurer partiellement leur alimentation au cours d'une année. Elles sont obligées de recourir à d'autres produits venant d'ailleurs. Ainsi, des mesures urgentes à court, moyen et long terme sont à prendre pour assurer non seulement une vie décente aux populations mais aussi une protection des écosystèmes dans le but d'un développement humain durable.

Mots clés : Bassin versant, dynamique, systèmes d'exploitation, impacts, ressources naturelles, Bénin

SUMMARY

The operating systems of the natural resources in the basin of Sô were studied and their evaluated impact on the ecosystems.

The aims of this study are to characterize the basin by the biophysics and human stand, to analyze the various operating systems set up by the populations and to determine the impacts of them. The methods used relate to those which have report with the determination of the geometrical parameters of the basin. The analyses hydrological, bathymetric, sedimentological, granulometric, diachronic, method of transect and demographic made it possible to obtain rather edifying results. The matrix approach of Léopold was used to evaluate the impacts of the systems of production on the ecosystems.

The results obtained indicate that the basin of Sô is a lengthened basin with slope weak relief which supports a flow in tablecloth, endoreic and concentric. This characteristic supports the stagnation of water in the basin all the year. In the basin the quantity of water which runs out per annum is on average 2 619 763 921 m³. This quantity of water is almost lost in the Atlantic Ocean because; any system of retention is installed on the basin.

Sedimentary dynamics is overdrawn of – 218221m³ in the course of the river, on the plate 1,401 m³/year/ha are eroded each year for 8,473 m³/year/ha on the slopes and an accumulation of 9,922 m³/an/ha in the plain of flood. The vegetable communities' in the South of the basin are characterized by a gradient of hydromorphy. In the Northern part of the basin the listed species show that, the zone can be characterized of forest belt; but these species for the majority in the form of are grown again and of shrubs.

The assessment of the dynamics of the vegetation between 1978 and 1996 shows that the natural formations regressed of 65,57 % for a stability, of 32,65 % against a reconstitution of 1,78 %. Between 1996 and 2006, the assessment presents a regression of 78,53 % against 20,65 % of stability and 0,82 % of reconstitution. The total assessment over the period of 1978 to 2006 indicates a rate of regression of 55,89 % for a rate of stability of 42,03 % and a progression of 2,08 %.

The moderate evolution of the population strongly impacts on the resources of the basin, so that the grounds of the tops of plate are washed to a great extent. On the other hand, the exploitation of the resources makes it possible the populations of the basin to ensure partially their food par year. They are obliged to resort to other products coming besides. Thus, of urgent measurements to short, average and long term are to be taken to ensure not only one decent life the populations but also a protection of the ecosystems with an aim of a durable human development.

Key words Area catchment, dynamic, operating systems, impacts, natural resources, Benin

SIGLES ET ACRONYMES

ABE : Agence Béninoise pour l’Environnement

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

BSB : Bibliothèque Scientifique du Bénin

BUC : Bibliothèque Universitaire Centrale

CARDER : Centre d’Action Régionale pour le Développement Rural

CBF : Consortium Bas-fonds

CCF : Centre Culturel Français

CENAP : Centre national d’Agro-Pédologie

CENATEL : Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert forestier

CeRPA : Centre Régional de Promotion Agricole

DANA : Direction de l’Alimentation et de la Nutrition Appliquée

FAO : Organisation des Nations-Unies pour l’Alimentation et Agriculture (Food and Agriculture Organisation of the United Nations).

FED : Fonds Européen de Développement.

FLASH : Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines.

IITA : Institut International de l’Agriculture Tropicale

INSAE : Institut National de la Statistique et de l’Analyse Economique.

INRAB : Institut National de la Recherche Agricole du Bénin.

IRB : Société Instituto Ricerche Breda.

IVC : Inland Valley Consortium.

LABEE : Laboratoire de Biogéographie et d’Expertise Environnementale.

LaRBE : Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d’Etudes Environnementales

LSSEE : Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement.

MDR : Ministère du Développement Rural.

MDRAC : Ministère du Développement Rural et de l’Action Coopérative.

OBRGM : Office Béninois de Recherches Géologiques et Minières.

ONAB : Office National du Bois du Bénin

ONASA : Office National d’Appui à la Sécurité Alimentaire.

PGRN : Projet de Gestion des Ressources Naturelles.

PNUD : Programme des Nations-Unies pour le Développement.

SERHAU-SEM : Société d’Etudes Régionales, d’Habitat et d’Aménagement Urbain – Société-d’Economie Mixte.

UL : Université de Lomé.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Cette partie prend en compte l'introduction, la problématique, les objectifs, les hypothèses de recherche, le cadre théorique, la revue de littérature, la clarification des concepts et enfin les limites de l'étude.

1. INTRODUCTION

Comme partout en Afrique, notamment dans les pays au sud du Sahara, et en particulier au Bénin, l'accès aux ressources naturelles était libre. L'homme considérait la nature comme une réserve inépuisable de ressources qu'il peut prélever à volonté, sans déséquilibrer l'environnement. Le contexte socio-économique d'alors était favorable à cette perception, car marqué par une large disponibilité des ressources et une faible pression démographique. Au fil du temps, avec l'accroissement de la population, la compétition pour l'accès aux ressources naturelles sera plus accentuée avec pour conséquence leur amenuisement et l'apparition de conflits (Haskoning *et al.*, 2000).

Le Bénin, pays de l'Afrique de l'Ouest, connaît une évolution croissante de sa population. Estimée à 878 000 habitants en 1910, cette population est passée à 3 331 210 habitants en 1979 (RGPH1) et à 4 915 600 habitants en 1992 (RGPH2)¹, avec une densité moyenne de 43 hbts/km². Selon le RGPH3 (2002), le Bénin compte aujourd'hui plus de 6 769 914 d'habitants avec une densité moyenne de 55,95 hbts/km² pour une superficie évaluée à 114 763 km².

Ce croît démographique impose une forte pression sur les ressources naturelles entraînant ainsi leur dégradation. L'importance des conséquences de la dégradation de l'environnement suscite une prise de conscience de plus en plus croissante même chez les plus sceptiques de notre planète (Sally *et al.*, 1994). Aujourd'hui, l'heure n'est plus à une énumération répétitive des causes ou des phénomènes responsables de l'effondrement des écosystèmes, mais plutôt à la recherche et à la mise en œuvre au plus vite de solutions concrètes pour enrayer ce fléau qui menace de plus en plus la survie de l'humanité tout entière (Nimègue, 2000). Parmi les actions de

¹ Recensement Général de la Population et de l'habitation: (RG PH 1 et 2)

préservation de l'intégrité de l'environnement, la conservation et la gestion durable des zones humides figurent en très bonne place.

Les écosystèmes, sous leurs diverses formes, subissent aujourd’hui des préjudices du fait de l'action de l'homme. Les zones humides, généralement objet de forte concentration humaine à cause des immenses ressources dont elles regorgent sont soumises à l'action destructrice de l'homme. Très riches en ressources naturelles de tout genre, elles sont le siège d'intenses activités de production.

Le bassin de la rivière Sô fait partie des zones humides du Sud-Bénin qui se caractérisent par des marécages, mares, marigots, lacs, cours d'eau, plaine d'inondation, etc. Selon la définition adoptée par la convention de Ramsar, “*les zones humides sont : des étendues de marais, fagnes, tourbières ou d'eaux, naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eaux marines dont la profondeur ne dépasse pas six mètres à marée basse*”. (Traduction officielle Convention de Ramsar, 1982).

Les zones humides sont donc des écosystèmes caractérisés par la présence de plusieurs composantes biologiques : eau, sols, flore et faune. Hormis leur importance sur le plan de l'équilibre écologique et du support de toute vie, les zones humides procurent à l'homme des avantages économiques considérables dans plusieurs domaines dont les plus connus sont la pêche, l'agriculture et l'approvisionnement en eau (Sally *et al.*, 1994). Elles sont de fait sollicitées par les pêcheurs, éleveurs et agriculteurs car, ce sont des endroits à très fortes potentialités agricoles et piscicoles. Mais malheureusement, cette exploitation entraîne le plus souvent de graves conséquences écologiques par la dégradation aussi bien de la flore que de la faune.

La gestion durable de ces écosystèmes devrait contribuer à subvenir aux besoins croissants des populations rurales et urbaines en diverses productions céréalières, maraîchères et fruitières, tout en tenant compte des générations futures. C'est ce qui justifie l'intérêt de la présente étude qui a pour but d'évaluer les impacts liés à l'exploitation des ressources des écosystèmes du bassin de la Sô.

L'étude est structurée en trois parties. La première traite des caractéristiques du milieu et des approches méthodologiques. Les résultats, objet de la deuxième partie,

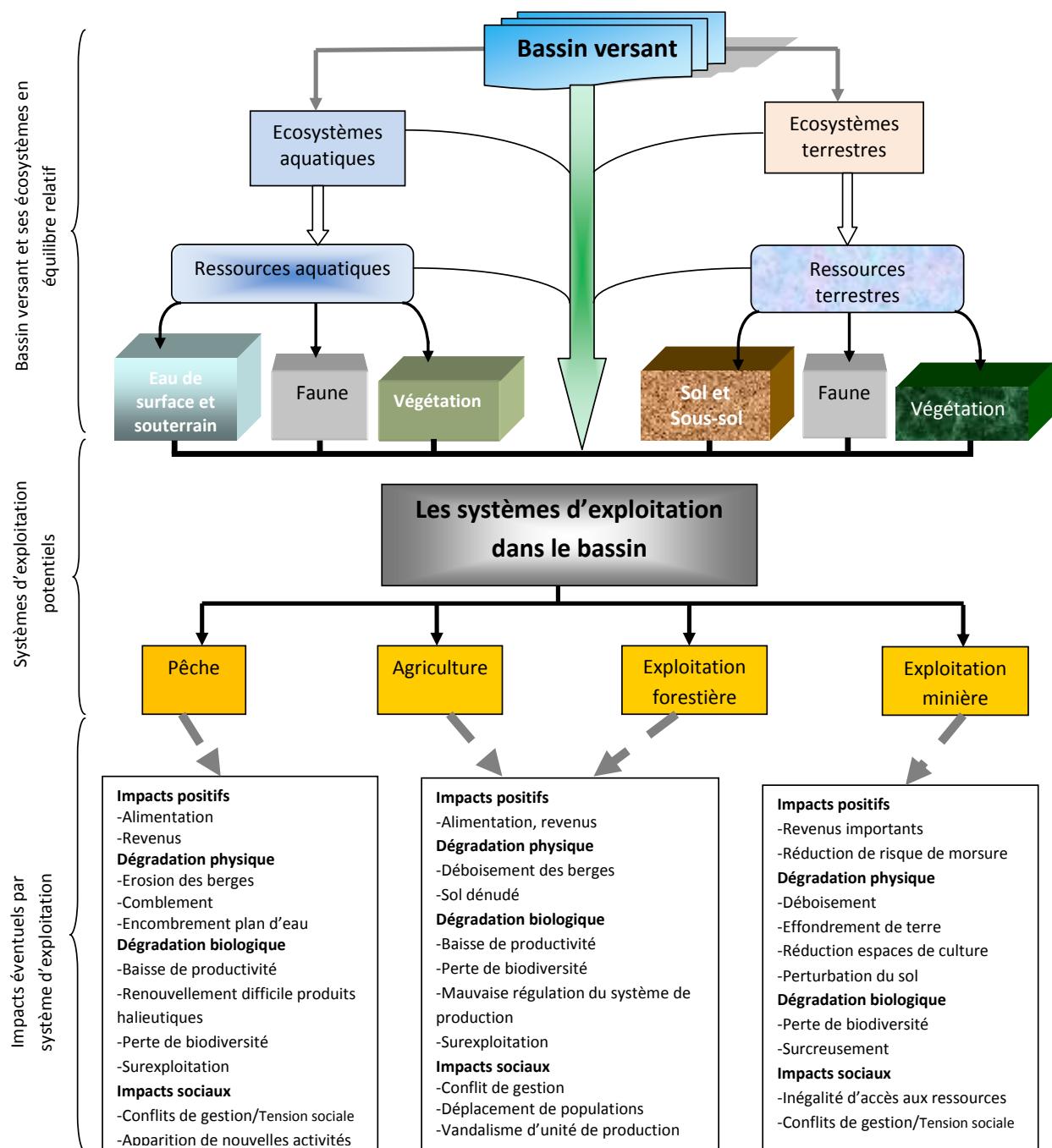
ont permis de déterminer les principaux facteurs des systèmes d'exploitation qui ont un impact négatif sur les écosystèmes. La troisième partie est consacrée à l'analyse écosystémique des impacts, à la discussion des résultats, à la conclusion générale et aux suggestions.

2. CADRE THEORIQUE

Le bassin de la Sô se trouve dans un espace périurbain où les pressions démographiques et l'urbanisation sont intenses. Il est situé sur le bassin sédimentaire côtier avec des formations pédologique et géologique meubles vulnérables à l'érosion. Ces caractéristiques rendent le milieu d'étude en un espace particulier où plusieurs systèmes production sont mis en œuvre à la fois.

Un bassin versant est un système complexe composé d'écosystèmes (aquatique et terrestre). A l'intérieur de ces derniers, se trouvent des ressources naturelles qui sont souvent en équilibre relatif. Ces ressources sont parfois considérées comme inépuisables. Les besoins des populations obligent ces dernières à utiliser abondamment ces ressources pour satisfaire leurs exigences actuelles à travers des activités de production.

Ainsi, dans la plupart des cas, les systèmes d'exploitation mis en œuvre par les populations sont nuisibles à l'environnement et provoquent parfois des dégradations irréversibles et des tensions sociales insoupçonnées. La figure 1 montre le cadre théorique de l'étude.



Source : Elaboré par J.B. VODOUNOU, 2008

Figure 1 : Cadre théorique des systèmes d'exploitation des ressources naturelles et de leurs impacts sur les écosystèmes dans le bassin de la Sô au Bénin.

Le bassin étant un complexe constitué d'éléments biotiques et abiotiques, une exploitation intelligente de ses ressources pourrait constituer un fondement pour le développement humain dans le bassin car c'est un milieu assez productif. Une exploitation judicieuse des ressources peut permettre une croissance économique aux habitants mieux que ce qui est observé aujourd'hui. Par contre, une exploitation hasardeuse sans suivi comme cela se passe actuellement peut conduire à une

détérioration complète et irréversible des ressources du bassin mettant ainsi les populations riveraines en difficulté. On pourrait assister à un grand déplacement des riverains vers d'autres endroits comme cela se fait déjà mais de façon timide. Car l'exode rural touche déjà les populations installées au Nord du bassin dans les localités d'Agbangnizoun, d'Allada, de Toffo, de Za-Kpota, de Zè et de Zogbodomè.

2.1 PROBLEMATIQUE

La dégradation de l'environnement évolue au gré des conditions bioclimatiques et de l'action anthropique. Cette dégradation est d'autant plus inquiétante qu'elle ne laisse indifférents ni acteurs de développement, ni chercheurs (Heymans, 1981 ; Boko, 2000).

Au Bénin, et particulièrement dans le bassin de la Sô, la détérioration des écosystèmes constitue un handicap pour les activités des populations qui ne cessent de s'accroître (Paskoff, 1998).

Le bassin de la Sô fait partie des zones humides du Sud-Bénin ; une région où l'eau est le principal facteur qui contrôle le milieu naturel et les éléments biotiques (UNESCO, 1998). L'homme est de plus en plus conduit à modifier localement, parfois à une échelle plus étendue, la circulation de l'eau, afin d'en optimaliser l'utilisation (Ramade, 1992). Les zones humides constituent les milieux actuels les mieux productifs du monde. Ecosystèmes privilégiés de la diversité biologique, elles fournissent l'eau et les produits nécessaires à la survie d'innombrables espèces de plantes et d'animaux ; ce sont également d'importants entrepôts de matériels phytogénétiques, qui rendent de très importants services économiques, alimentaires (eau, pêches, agriculture, de bois d'œuvre ou de feu, ressources énergétiques, flore et faune sauvage, navigation, tourisme, etc).

Les zones humides jouent aussi un rôle dans les croyances religieuses et cosmologiques ; elles sont une source d'inspiration, de refuge pour esprits de tout genre. Elles ont fait naître d'importante tradition locale (UNESCO, 1998 ; PAZH, 1999). Dans le bassin de la Sô, les fonctions hydrologiques ne peuvent se perpétuer que si les processus écologiques se déroulent normalement. Malheureusement, ces écosystèmes sont les plus menacés du Bénin par le drainage, le comblement, l'assèchement, la pollution et la surexploitation des ressources (Baglo, 1983).

Les systèmes d'exploitation ne sont pas toujours en adéquation avec les propriétés et capacité de production de ces milieux. Une exploitation anarchique et un prélèvement abusif pour satisfaire les besoins d'une population en forte croissance menacent sa propre existence (Lawin, 2000). De plus, l'urbanisation du littoral tend à accroître les pressions de toutes natures sur les ressources (Biaou, 1995; Azonhoumè, 1979). En effet, les principaux systèmes d'exploitation mis en œuvre actuellement dans le bassin concernent l'agriculture qui est dévastatrice de la végétation à cause de son caractère itinérant sur brûlis. Elle constitue également le principal facteur de dégradation du sol par le nombre d'années de mise en exploitation et de la position topographique occupée par les champs. La pêche quant à elle, est une activité qui dévaste les écosystèmes de plan d'eau par les techniques de pêche pratiquées par les populations que sont l'utilisation de filet à mailles fines, l'encombrement et le comblement du cours d'eau par les branchages utilisées pour les parcs acadja, l'utilisation de pesticide. L'exploitation minière qui se consacre essentiellement à l'exploitation du sable fluvial perturbe le sol par décapage de l'horizon fertile propice à l'agriculture réduisant ainsi les superficies cultivables. Après exploitation du sable, les mares qui sont laissées constituent parfois des dangers pour les populations et pour l'environnement. L'Homme par son action modifie le plus souvent les paysages et les chaînes alimentaires de son environnement (Tchamié, 1998 & da Matha Sant'Anna, 2001). Ainsi, nombreux sont les biotopes et les biocénoses qui sont perturbés du fait des activités de l'Homme.

Par ailleurs, les activités humaines ne sont pas les seuls facteurs qui expliquent la dégradation que connaissent les écosystèmes aujourd'hui. Il faut aussi considérer à ce stade les modifications climatiques chargées de risques pour non seulement l'agriculture mais aussi pour les composantes socio-économiques. Le contexte climatique actuel rend plus difficile les activités humaines surtout agricole et est à la base d'une recomposition de classe ouvrière. En effet, dans le bassin, de nouvelles activités naissent et occupent une bonne partie de la population au détriment de l'agriculture. Les conséquences directes de cette situation sont la dépréciation des rendements agricoles, l'éclosion de conflits et de déprédition d'unités de production (Vodounou, 2005).

Aujourd’hui, où la protection de l’environnement devient fondamentale dans toute politique de développement économique et social, l’étude des systèmes d’exploitation des ressources du milieu est nécessaire pour une gestion durable de ces écosystèmes.

La présente thèse se veut une contribution à la prise de décision des acteurs du développement. Puisse-t-elle permettre d’attirer l’attention des pouvoirs publics, les collectivités locales, les acteurs privés et partenaires au développement sur les enjeux de la mise en valeur des ressources du bassin de la Sô qui exigent, à l’étape actuelle, des mesures spécifiques eu égard au niveau de vie précaire de la population et des souffrances qu’elles endurent. On peut souhaiter également que cette étude présente un intérêt pour toute personne qui, dans le cadre de programmes et de projets, s’interroge sur la façon d’associer les différents acteurs (paysans, pêcheurs, sabliers, exploitants forestiers), les moyens de valoriser leurs expériences et de répondre à leurs priorités dans les processus de planifications du développement.

Dans le cadre de cette étude, les objectifs poursuivis sont de deux ordres : l’objectifs global et les objectifs spécifiques.

2.2 OBJECTIFS DE L’ETUDE

Objectif global

L’objectif global est d’étudier les systèmes d’exploitation des ressources naturelles et leurs impacts sur les écosystèmes dans le bassin de Sô. Il s’agit aussi d’analyser le rôle des différents acteurs afin d’identifier des stratégies de développement durable.

Objectifs spécifiques

1. Définir les caractéristiques physiques du bassin de la Sô.
2. Déterminer les caractéristiques socio-économiques dans le bassin.
3. Caractériser les modes d’exploitation des écosystèmes.
4. Décrire les systèmes d’exploitation du milieu et des ressources naturelles.
5. Evaluer les impacts des différents systèmes d’exploitation sur les modes d’utilisation du milieu.
6. Identifier les contraintes du milieu et les stratégies de gestion du bassin pour un développement durable.

2.3 HYPOTHESES DE RECHERCHE

Trois hypothèses sont formulées pour servir de fil conducteur à cette étude et répondre à nos objectifs de recherche.

- L'état actuel du bassin dépend des paramètres biophysiques et socio-économiques qui prévalent.
- Les modes et systèmes d'exploitation sont déterminés par les besoins des populations.
- L'exploitation actuelle des ressources du bassin engendre des préjudices et nécessite la mise en œuvre de stratégies de développement durable.

2.4 REVUE DE LITTERATURE

Les zones humides ont des fonctions écologiques vitales. Elles assurent la régulation des régimes hydrologiques et abritent une très grande diversité biologique. Elles ont une valeur économique, culturelle, scientifique et récréative immense que l'on doit s'efforcer de préserver. La régression et la disparition progressives des zones humides constituent, pour l'environnement un préjudice grave, parfois irrémédiable, qu'il faut empêcher (Convention de Ramsar, 1971).

C'est pour toutes ces raisons qu'une Convention sur les zones humides a été signée en Iran, en 1971. La Convention est entrée en vigueur en 1975. Au 1^{er} janvier 1998, elle comptait 106 Parties contractantes et beaucoup de pays s'apprêtaient à y adhérer. Ramsar est le seul traité sur l'environnement de portée mondiale qui soit consacré à un écosystème particulier.

Cette Convention a pour mission de favoriser la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des mesures prises au plan national et par la coopération internationale, comme moyen de parvenir au développement durable dans le monde entier.

A la suite de cette convention, un accord a été signé le 21 mars 1994 entre le Bénin et les Pays-Bas pour l'élaboration et la mise en œuvre du Programme d'Aménagement des zones humides (PAZH). Ce programme a pour objectif la promotion d'un développement humain et socio-économique durable à travers la conservation, la réhabilitation, la mise en valeur et l'exploitation rationnelle des ressources desdites zones (Houkpe et Bonou, 2001).

Pour atteindre un tel objectif, la première étape a été le diagnostic de la gestion actuelle des zones humides du Sud-Bénin. Ce diagnostic a révélé l'existence d'importants problèmes de gestion et d'exploitation des ressources des zones en question (Afouda, 1999; Jones, 2000). Ainsi, l'une des activités les plus importantes du PAZH est l'inscription sur la liste de Ramsar des zones humides du Sud-Bénin en janvier 2000. Parmi ces zones se trouve la vallée de la Sô qui fait partie du Complexe Est.

Les travaux de recherche réalisés jusque là dans ce domaine se rapportaient aux études commanditées par le PAZH et concernent les domaines ci-après:

- bases de données et de développement de capacités;
- biodiversité et recherche scientifique;
- appui aux communautés et pêches;
- stratégies de gestion des zones humides;

Ainsi, dans le cadre des activités du PAZH - volet formation- Alé (1999) expose les mesures internationales, nationales et les politiques de protection et d'aménagement. Ndiaye (1999) quant à lui s'est intéressé aux valeurs et fonctions des zones humides. Il a également défini les critères qui permettent l'identification des zones humides d'importance internationale. Les stratégies de mise en valeur de ces zones ont été étudiées par Nimègue (2000) qui, à travers la méthode de l'Analyse Stratégique de l'Environnement (ASE) met en exergue non seulement les fonctions, les potentialités mais aussi les tendances et les impacts qui pèsent sur les ressources naturelles et les hommes.

L'utilisation du "Problem-in-Context" comme outil d'analyse a permis de comprendre les problèmes liés aux écosystèmes humides du Sud-Bénin. Cet outil a permis de voir les relations entre les problèmes et entre les causes à tous les niveaux et d'identifier les facteurs sur lesquels il faudra intervenir pour la résolution de tous les problèmes, ainsi que la manière dont elle pourrait se faire (Afouda, 1999).

da Matha Sant'Anna (2001) fait remarquer que les nombreux échecs des aménagements dans les zones humides montrent que les décisions politiques se prennent sur la base d'une information incomplète, en particulier du fait du manque de données scientifiques fiables sur la conservation des ressources naturelles. Il

constate également que les informations disponibles sur les zones humides autres que celles estuariennes sont encore très fragmentaires et qu'il urge de les compléter par des travaux sur les aspects non traités pour enrichir la base de données du PAHZ.

Soclo (2000) constate que la pollution organique et inorganique est en augmentation depuis quelques années. Il fait observer que cette pollution est plus accentuée aux abords immédiats des grosses agglomérations et est liée aux activités économiques des populations. Ces activités provoquent également une dynamique érosive des différents écosystèmes (Domingo, 1999). Pfeiffer *et al* (1992), se sont intéressés à l'analyse socio-économique de la pêche lagunaire au Bénin. Dans cette étude, il a été question de l'inventaire des engins de pêche et de leur implication dans la gestion durable des ressources naturelles.

De même, Yèhouénou (2005) a montré l'impact de l'utilisation des pesticides de coton sur l'environnement. Elle a démontré que les résidus de ces pesticides se retrouvent dans les poissons pêchés dans le bassin de l'Ouémé lequel contient celui de la rivière Sô. Ces substances polluent donc les eaux du fleuve. Pour elle, les comportements anthropiques ont un impact sur les écosystèmes du fleuve Ouémé et du lac Nokoué. Elle s'est surtout intéressée à la qualité physico-chimique de l'eau. Il ressort de cette étude que la qualité de l'eau du fleuve est bonne car les paramètres physico-chimiques mesurés n'ont pas d'effets néfastes majeurs sur la vie et la reproduction des espèces.

Clédjo (2006) quant à lui, a montré les problèmes environnementaux que pose l'utilisation des acadja dans le lac Nokoué. Il a évalué les impacts sur la biodiversité des engins et techniques de pêche déployés par les populations sur le lac, il confirme que l'utilisation de certaines espèces végétales comme *Bambusa abyssinica* A.Rich, présente un avantage certain dans les parcs acadja. La remarque ici est que la préférence manifeste pour cette espèce provoque sur elle, une forte pression.

Par ailleurs, Bokonon-Ganta (1991) a étudié en milieu lacustre au sud du Bénin, les relations entre les rythmes hydroclimatiques et les rythmes de naissance. Il a montré que pendant l'hivernage où les activités agricoles sont intenses, le rythme des naissances est faible. Par contre, les périodes de faibles activités agricoles et

surtout pendant la mousson, le rythme des naissances est élevé. Dans cette étude, il n'a pas montré l'impact des rythmes hydroclimatiques sur les ressources naturelles.

Dans son étude sur l'environnement physique du bassin de Goudomp au Sénégal, Manga (2009) a montré que malgré les lourdes contraintes naturelles, le bassin regorge d'énormes potentialités agropédologiques. Les sols offrent un cadre adéquat pour une mise en valeur agricole. Les différents aquifères mis en place par la géologie sont richement dotés en ressources hydriques.

Mais avant ces études, Boko (1989) avait constaté que les marécages inondés en saison pluvieuse constituent des milieux où "foisonnent des complexes pathogènes". Parmi les nombreuses autres études ayant traité des rapports zones humides-environnement-populations, il faut signaler les mémoires soutenus dans le cadre universitaire comme celui de Clédjo (1994) qui traite des rythmes hydroclimatiques en milieu lacustre (Communes de Sô-Ava et Aguégués). Le même auteur, en 1999, a étudié la gestion locale de l'environnement dans les cités du lac Nokoué. Il a montré comment les activités génératrices de revenus ont un impact sur l'environnement notamment la filière poisson. Il propose à cet effet, des stratégies de gestion environnementale pour un développement durable.

Par ailleurs, dans le cadre des Conventions internationales ratifiées par le Bénin en matière de gestion durable des ressources naturelles, de la protection de l'environnement et de la lutte contre la pauvreté, le pays s'est doté d'un document de politique nationale de l'eau (Code de l'eau) qui épouse les principes de Dublin. Lesdits principes imposent une gestion holistique de la ressource eau dans un souci d'équité, d'efficacité et de transparence, à la fois pour le bien-être de l'humanité et la régulation des tensions sociales qu'engendre son exploitation (LIFAD, 2006).

Au total, en l'état actuel des connaissances sur le sujet, il semble qu'aucune étude d'impact des systèmes d'exploitation des ressources naturelles sur les écosystèmes dans le bassin de la Sô n'ait encore été conduite. Certes, des études sur les zones humides du Sud-Bénin se sont intéressées non seulement à l'inventaire des ressources, mais aussi aux cadres institutionnel et juridique de la gestion des zones humides.

En dehors des études effectuées sur les zones humides du Sud-Bénin, certaines ont porté sur les bas-fonds de l'intérieur. Ces études sur les bas-fonds sont l'œuvre de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) à travers le Projet Bas-fonds. L'expérience du Bénin dans ce domaine reste encore limitée aux seuls aménagements hydro-agricoles. Elle a bénéficié depuis les années 60 jusqu'aux années 90 de l'appui de certaines institutions internationales comme la FAO, le PNUD, l'IITA et d'autres structures locales telles que les CARDER et l'INRAB.

Le Consortium Bas-fonds (CBF) s'investit depuis 1994, dans l'aménagement et l'exploitation des bas-fonds à travers la caractérisation agro-écologique et socio-économique, les méthodes de gestion des terres et des eaux, les tests d'aménagement adaptés aux moyens des paysans ainsi que le transfert de technologies.

Au regard de cette richesse bibliographique et de son caractère relativement récent, la spécificité de cette étude s'inscrit dans son cadre physique – le bassin versant de la rivière Sô – qui appartient à un complexe fluvial – vallée de l'Ouémé – dont le fonctionnement hydrologique joue un rôle important dans la structure et le fonctionnement des différents écosystèmes de la partie Est du Sud-Bénin.

2.5 CLARIFICATION DE CONCEPTS

Écosystème : On désigne par écosystème, le complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle (UNEP/CBD, 1994).

Impact : Ce sont des effets produits par un phénomène naturel ou par l'action de l'homme sur d'autres composantes du milieu. C'est une perturbation engendrée par une action sur les composantes du milieu (Poutrel et Wasserman, 1977). L'impact représente les effets sur le milieu résultant d'un niveau de pollution (de l'air, de l'eau ou du sol) dépassant le niveau admissible. Les effets directs ou indirects doivent s'apprécier dans leurs conséquences à court, moyen et long terme". Les impacts peuvent aussi être des effets positifs directs engendrés à plus long terme par les activités ou projets des hommes. En réalité les impacts sont des effets à long terme.

Planification écologique : Elle implique une certaine harmonisation du développement au milieu naturel (Wiken, 1979). Elle prend en compte un ensemble de caractéristiques biophysiques en matière de prise de décision (Steiner et Brooks, 1981) et fait appel à la "cartographie écologique" comme moyen privilégié d'analyse et de représentation des composantes biophysiques (Belanger *et al.*, 1983). Elle véhicule le concept de déterminisme écologique tel que présenté par McHarg (1965).

Planification environnementale : Selon Coleman (1976), "la planification environnementale est la planification de la survivance". Elle est axée sur les externalités délaissées par la planification traditionnelle. Elle fait recours à une perspective plus «globale» voire «systémique» laquelle est généralement appliquée aussi bien aux ensembles sociaux que biophysiques.

Système: On peut théoriquement définir un système comme une série d'éléments ou de composantes interdépendantes qui ont une action réciproque les uns sur les autres. C'est l'ensemble des composantes qui entrent dans une unité de production.

Système d'exploitation : Badouin (1985) définit le système d'exploitation comme le mode de fonctionnement des unités de production. Bourgeois (1983) le considère, dans le contexte français, comme un ensemble famille-système de production. Selon Biaou (1997), un système d'exploitation se définit comme un ensemble ménage-unité d'entreprise. Cette définition se rapproche de celle donnée par Bourgeois.

Dans le cadre de cette étude, un système d'exploitation est considéré comme l'ensemble des techniques et outils utilisés dans une activité de production pratiquée par la population et ayant un effet direct sur les ressources naturelles. Les principales activités considérées ici sont l'agriculture, la pêche, l'élevage, l'exploitation forestière et l'exploitation minière.

Système de production : Un système de production regroupe le ménage et l'exploitation agricole appartenant au ménage (Heidhues *et al.*, 1993). Pour Deybe (1994), le système de production se caractérise par une alternance entre grandes cultures et périodes de repos de la terre, sous forme soit de jachère, soit de pâturages artificiels. Cette alternance permet de tirer un profit assez important et de maintenir la fertilité des sols à long terme.

Surexploitation : Une situation de surexploitation peut être définie comme une situation où le niveau d'exploitation dépasse la capacité naturelle de restitution ou bien de régénération, de restauration ou de reproduction (Nimègue, 2000). En dépassant le niveau d'exploitation qui est en accord avec cette capacité de restitution, on risque de causer des impacts à caractère irréversible.

3. LIMITE DE L'ETUDE

Les limites de l'étude sont d'ordre structurel et méthodologique. En effet, du point de vue structurel, certaines données disponibles sont trop vieilles ou parfois inexistantes, c'est par exemple les données sur les cartes d'aptitude des sols qui sont jusqu'à ce jour inachevées (cartes) et inexistantes (données). Même au Laboratoire des Sciences des Sols, Eaux et Environnement (LSSEE) ex-CENAP, il n'a pas été possible d'avoir des données cohérentes pour une analyse de l'aptitude des sols. Seules les déclarations des populations sur l'état de fertilité des terres du secteur ont été prises en compte. Aussi, les données NDVI obtenues ne couvrent-elles seulement que la période de 1982 à 2001. Les recherches effectuées sur le net et dans certaines structures au Bénin, au Togo comme au Burkina Faso n'ont pas permis d'avoir mieux. Le contact pris avec Agrhyemet au Niger dans l'espoir d'obtenir satisfaction est resté vain. De même, les données concernant les crues et débits dans le bassin remontent à 1977. Depuis, aucune donnée récente n'est disponible à la Direction Générale de l'Eau suite à la panne survenue au niveau de la station installée sur le bassin.

Les difficultés d'ordre méthodologique concernent le dispositif de mesure de l'érosion et de la quantité de sable déposé. En effet, au départ, il a été installé dans le chenal du cours principal un récipient qui servirait à recueillir le sable charrié, mais les exploitants de sable ont enlevé par deux fois ce dispositif, ce qui nous a contraints à abandonner l'expérimentation. De même, sur le plateau et son versant, certains piquets d'érosion ont été enlevés et nous les avons remplacés.

Il faut signaler que ces difficultés n'ont pas impacté les résultats obtenus ; lesquels nous semblent globalement satisfaisants.

PREMIERE PARTIE

CARACTERISTIQUES DU MILIEU D'ETUDE ET APPROCHES METHODOLOGIQUES

CHAPITRE 1 : MILIEU D'ETUDE ET TRAITS SOCIO-ECONOMIQUES

Cette partie présente les données physiques du secteur d'étude : le climat, le substratum géologique et pédologique, le paysage morphologique, le réseau hydrographique et les traits socio-économiques.

1.1. MILIEU D'ETUDE

Le milieu d'étude sera présenté sous deux aspects : aspect sous-régional et aspect local.

1.1.1. Localisation géographique du secteur d'étude

La République du Bénin est un pays de l'Afrique de l'Ouest qui a porté le nom de Dahomey jusqu'en 1975 ; elle est essentiellement agricole. Elle est située entre $0^{\circ}45'$ et $3^{\circ}55'$ de longitude Est et $6^{\circ}10'$ et $12^{\circ}25'$ de latitude Nord. Le Bénin se présente sous la forme d'un bloc perpendiculaire au littoral dans le Golfe de Guinée encore appelé Golfe du Bénin. Sa superficie est de 114 763 km² avec une population de 6 752 569 habitants (INSAE-RGPH, 2002). Il est limité au sud par l'Océan Atlantique, au nord par le Niger, au Nord-Ouest par le Burkina Faso, à l'est par le Nigeria et à l'Ouest par le Togo (figure 2). On y distingue trois types de climat : le climat subéquatorial au sud, le type soudanien au nord entre le 9^{ème} et le 12^{ème} parallèle et enfin, un climat de transition de type guinéo-congolais entre le 7^{ème} et le 9^{ème} parallèle.

Le secteur d'étude fait partie du delta de l'Ouémé. Il est à cheval sur plusieurs Départements : Atlantique, Ouémé et Zou et couvre 13 communes à savoir ; Abomey, Abomey-Calavi, Adjohoun, Agbangnizoun, Allada, Bohicon, Bonou, Dangbo, Sô-Ava, Toffo, Za-Kpota, Zè et Zogbodomey. Il est compris entre $2^{\circ}10'$ et $2^{\circ}30'$ de longitude Est, $6^{\circ}28'$ et $7^{\circ}06'$ latitude Nord (figure 2). Cette partie est sous le climat subéquatorial avec une superficie de 20735,20 km². C'est le domaine des plateaux sédimentaires du Sud-Bénin orientés N-S et d'altitude moyenne comprise entre 20 et 100 m.

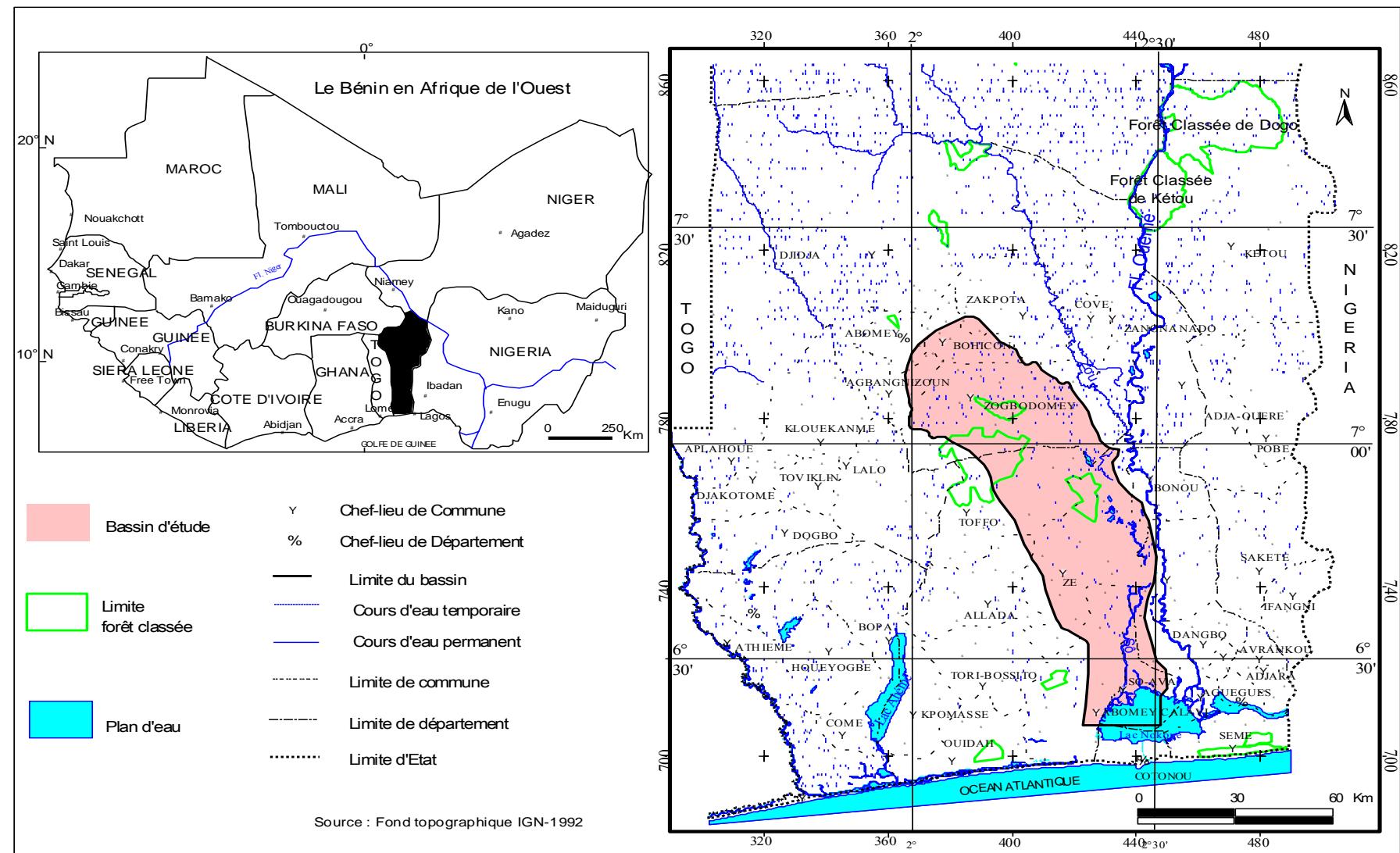
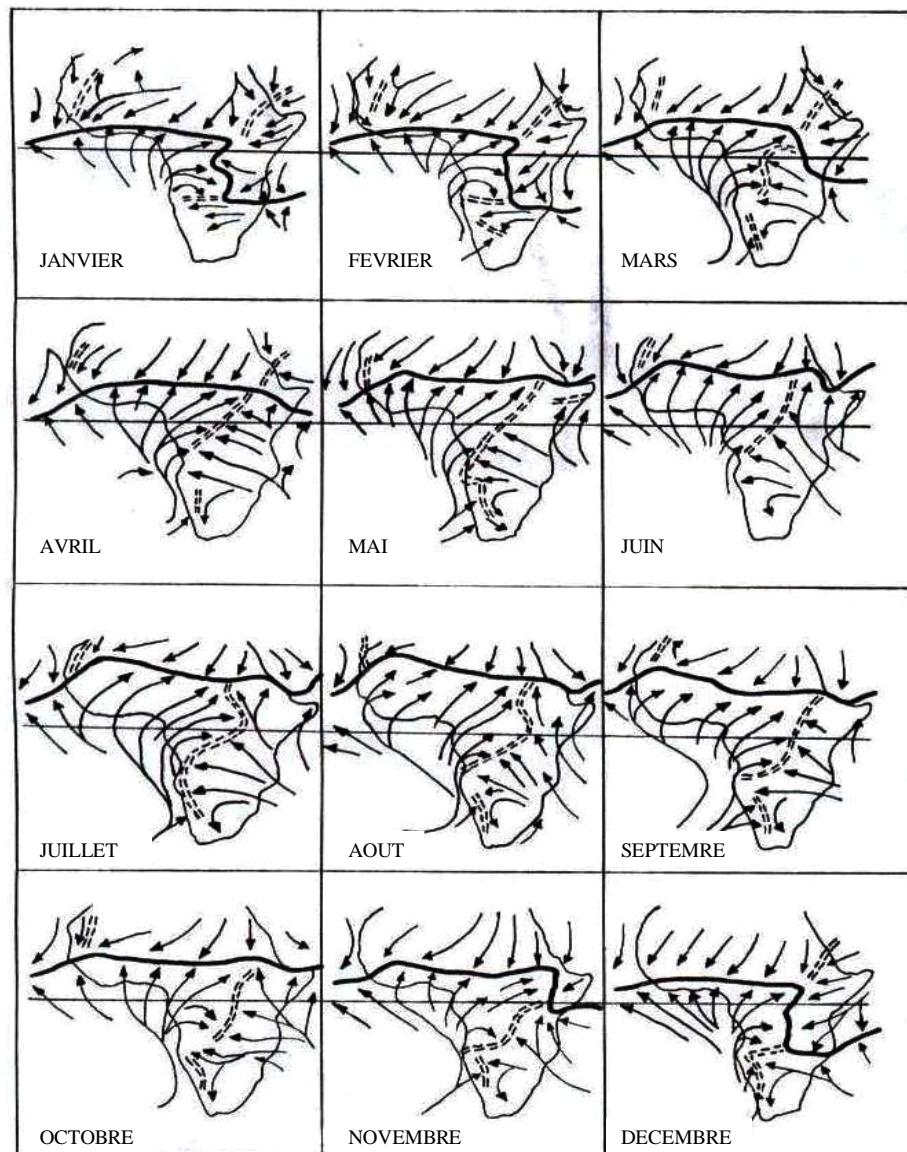


Figure 2 : Localisation géographique du bassin d'étude

1.1.2. Facteurs climatiques

Le balancement du Front Inter Tropical (FIT) détermine les saisons en Afrique entre les tropiques. Ce front a une direction générale Sud-Nord et se déplace lentement suivant les saisons (figure 3). En effet, pendant la saison des pluies, les anticyclones



— Équateur météorologique

===== Convergence inter-océanique en Afrique australe et en Afrique de l'Est
FAL sur le littoral sénégalo-mauritannien

Source : Tente, 2005

Figure 3: Mouvement oscillatoire annuel du FIT sur l'Afrique

des Açores et du Sahara s'installent dans les dépressions superficielles, tandis que l'anticyclone de Sainte Hélène, particulièrement puissant, est à l'origine d'une masse d'air qui remonte vers le Nord.

Par contre, pendant la saison sèche, les anticyclones des Açores et du Sahara sont dans une position méridionale. Cette période correspond à la manifestation de l'harmattan. En effet, au mois de janvier, le FIT descend complètement au sud ce qui favorise la manifestation de l'harmattan dans le secteur d'étude. Aussi, à partir de février – mars, remonte-t-il progressivement vers le Nord et atteint en août sa position maximale. Ces différents mouvements du FIT déterminent les variations saisonnières de la pluviométrie dans le secteur d'étude.

Par ailleurs, le FIT peut connaître des mouvements liés au cycle diurne, où il se déplace de 200 km en moyenne par jour et à la poussée de la mousson ou de l'alizé maritime. Ces mouvements sont aussi influencés par les courants marins (figure 4).

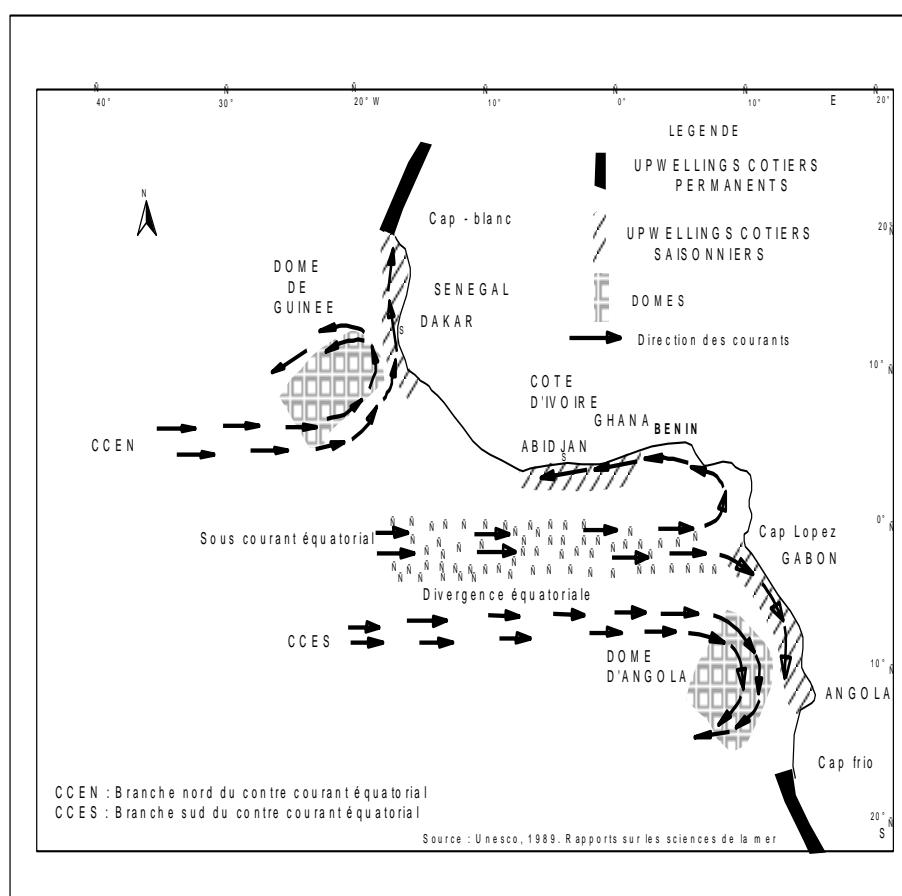


Figure 4: Système de courants marins de l'atlantique sur la côte ouest-africaine

Ce sont ces mouvements du FIT qui sont à la base du climat qui règne dans le secteur d'étude et qui se caractérise par un climat subéquatorial chaud et humide dont les paramètres sont les suivants :

- ***Les vents*** : il existe plusieurs types de vents. Les flux régionaux liés aux champs de pression et les vents locaux. Les statistiques actuelles présentent des lacunes (Oyédé, 1991). Si elles couvrent une période assez longue (depuis 1952), elles restent limitées à la seule station de Cotonou. Les vents qui prédominent par leur fréquence sont :

~ SW (64 %) : la répartition mensuelle indique des fréquences très fortes en février, mars avril, mai, juin, octobre et novembre. La vitesse moyenne est de 4,4 m/s avec les valeurs maximales en juillet-août comprises entre 5,4 et 5,6 m/s ;

~ WSW (16,07 %) : les fréquences les plus élevées sont axées sur juillet, août et septembre avec une vitesse moyenne de 6 m/s. Les fortes vitesses sont notées en juillet et octobre (6,3 à 6,6 m/s) ;

~ SSW (14,40 %) : les fréquences mensuelles les plus élevées sont axées sur janvier, mars, novembre et décembre avec une vitesse moyenne de 3,6 m/s (statistiques ASECNA, 2008) ;

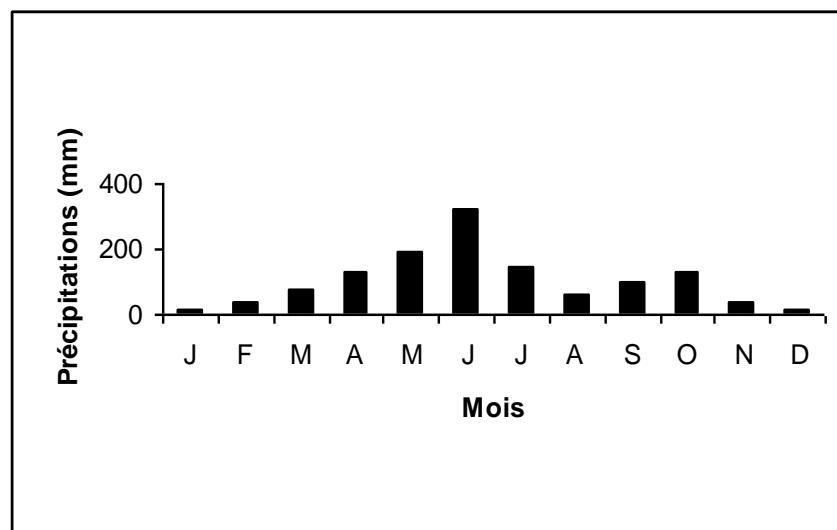
Ces vents sont à l'origine des vasières toujours localisées dans le sud et le sud-ouest tandis que sur les rives nord-orientales des plans d'eau, s'accumule généralement du sable souvent bien propre (Oyédé, 1991).

- ***La température de l'air***²: la température moyenne varie très peu dans la zone côtière du Bénin. A l'échelle saisonnière, elle reste élevée en saison sèche (27,7°C en moyenne) et relativement faible en saison pluvieuse (26,5°C). Les mois de février, mars et avril, les plus chauds, connaissent des amplitudes relativement fortes : journées ensoleillées et chaudes (31-33°C) suivies de nuits fraîches (23-24°C). En juillet et août, la chute est sensible (25°C). Cette période correspond, en mer à la remontée d'eau froide (upwellings) venant du sud et qui rafraîchissent la région côtière.

- ***La pluviométrie*** : le secteur est caractérisé par deux saisons sèches (décembre à mars et août), avec l'absence ou l'insuffisance de pluie. Les précipitations sont inférieures à 40 mm, et quasi nulles en décembre, janvier et février. Il y a deux

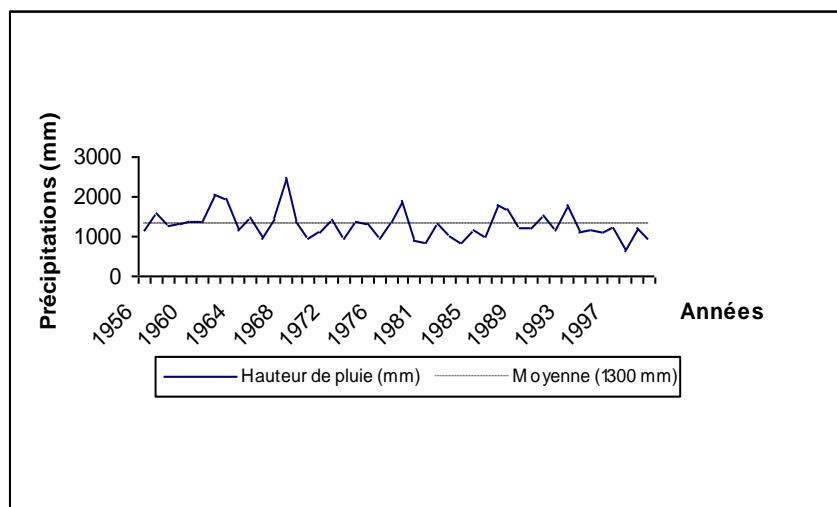
² Les statistiques utilisées sont celles de l'ASECNA.

saisons pluvieuses : l'une d'avril à juillet et l'autre de septembre à novembre. Au cours de ces périodes la moyenne mensuelle dépasse 170 mm. Ces caractéristiques imposent à la zone un régime bimodal, avec deux modes d'inégale importance concentrant 40 à 60 % des précipitations à la première saison des pluies et 18 à 30 % à la seconde (Boko, 1988). Les figures 5 et 6 indiquent le régime et la variation interannuelle de la pluviométrie sur 52 ans.



SOURCE : ASECNA - COTONOU

Figure 5: Régime pluviométrique moyen du secteur d'étude (1956-2008)



Source : ASECNA - Cotonou

Figure 6 : Variation interannuelle de la pluviométrie du secteur d'étude (1956-2008)

L'année 1968 est la plus arrosée avec 2470,2 mm de pluie et, depuis, la pluviométrie est en constante baisse. A partir de l'année 1994 la quantité de pluie reste inférieure à la moyenne (1300mm).

Le diagramme climatique (figure 7) permet de répartir l'année en des périodes de succession d'événements bioclimatiques. D'après les méthodes de Franquin (1969), on considère un mois comme humide lorsque son total pluviométrique est supérieur à l'évapotranspiration potentielle ($P > ETP$) et un mois est sec quand son total pluviométrique est inférieur à la moitié de son ETP ($P < \frac{1}{2} ETP$). Un mois est dit intermédiaire, lorsque son total pluviométrique est compris entre la moitié de l'ETP et l'ETP ($\frac{1}{2} ETP < P < ETP$).

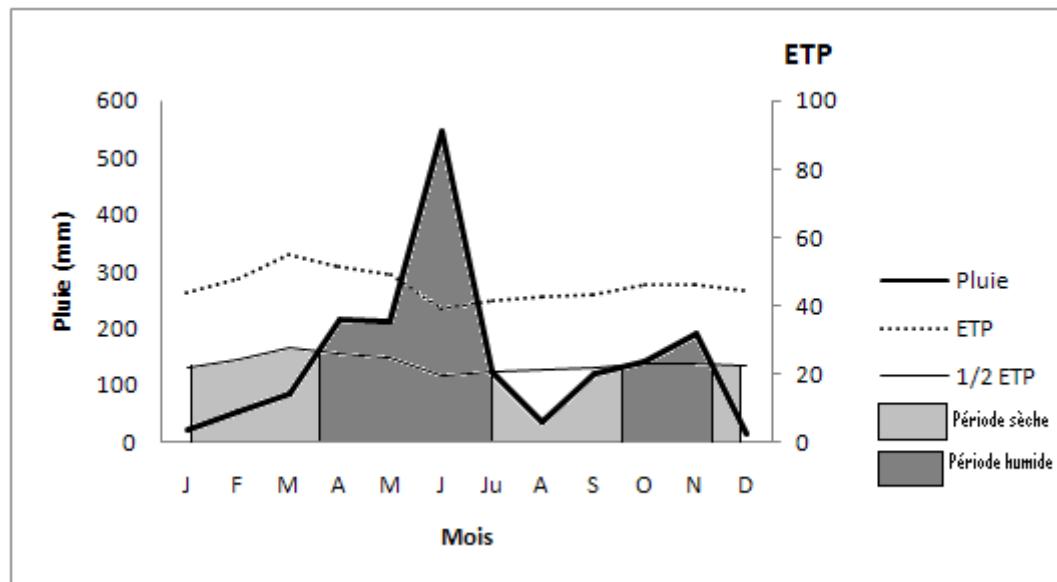
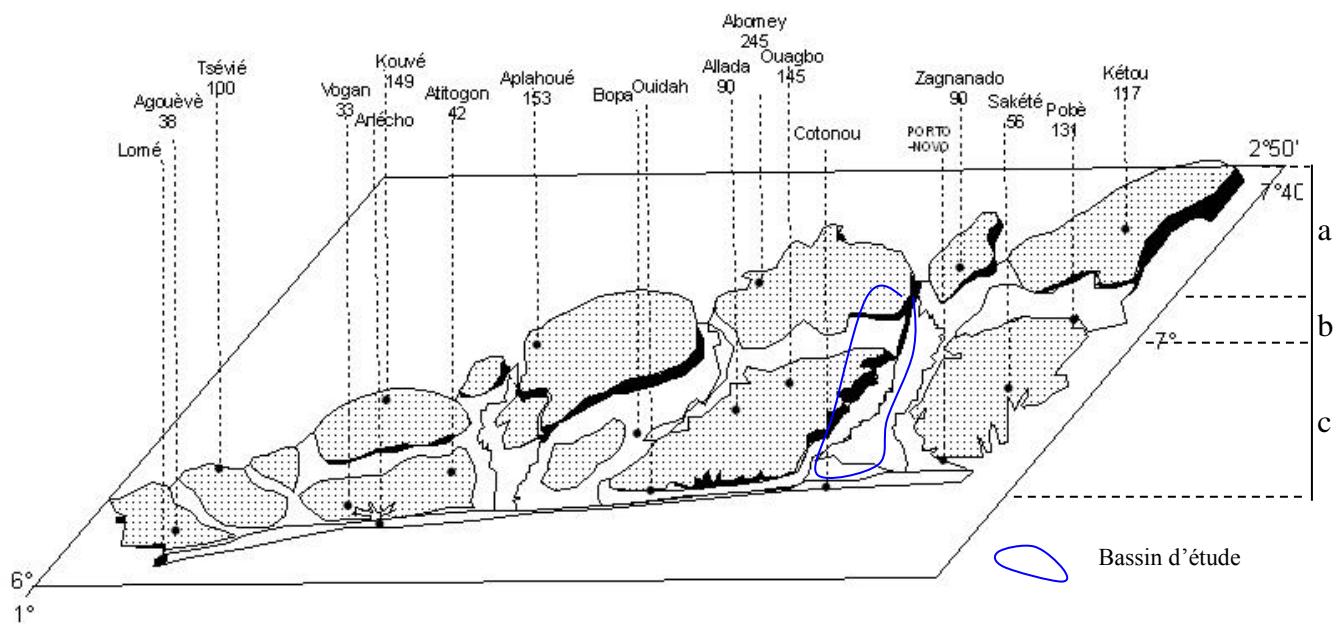


Figure 7: Diagramme climatique dans le bassin de la Sô (1956-2008)



Source : D'après SLANSKY, 1962

Figure 8: Système de plateaux du Sud-Bénin et Sud-Togo

(a : plateaux du nord ; b : dépression de la Lama ; c : plateaux du sud)

Ils sont recouverts de terre de barre, sédiments argilo-sableux de couleur ocre à rouge probablement du plio-quaternaire (Tossou, 2002).

La dépression de la Lama est un fossé orienté SW-NE, large de 5 à 25 km, et d'une longueur égale à 130 km au Bénin. Les figures 9 et 10 présentent le relief et les unités morphologiques du Bas-Bénin.

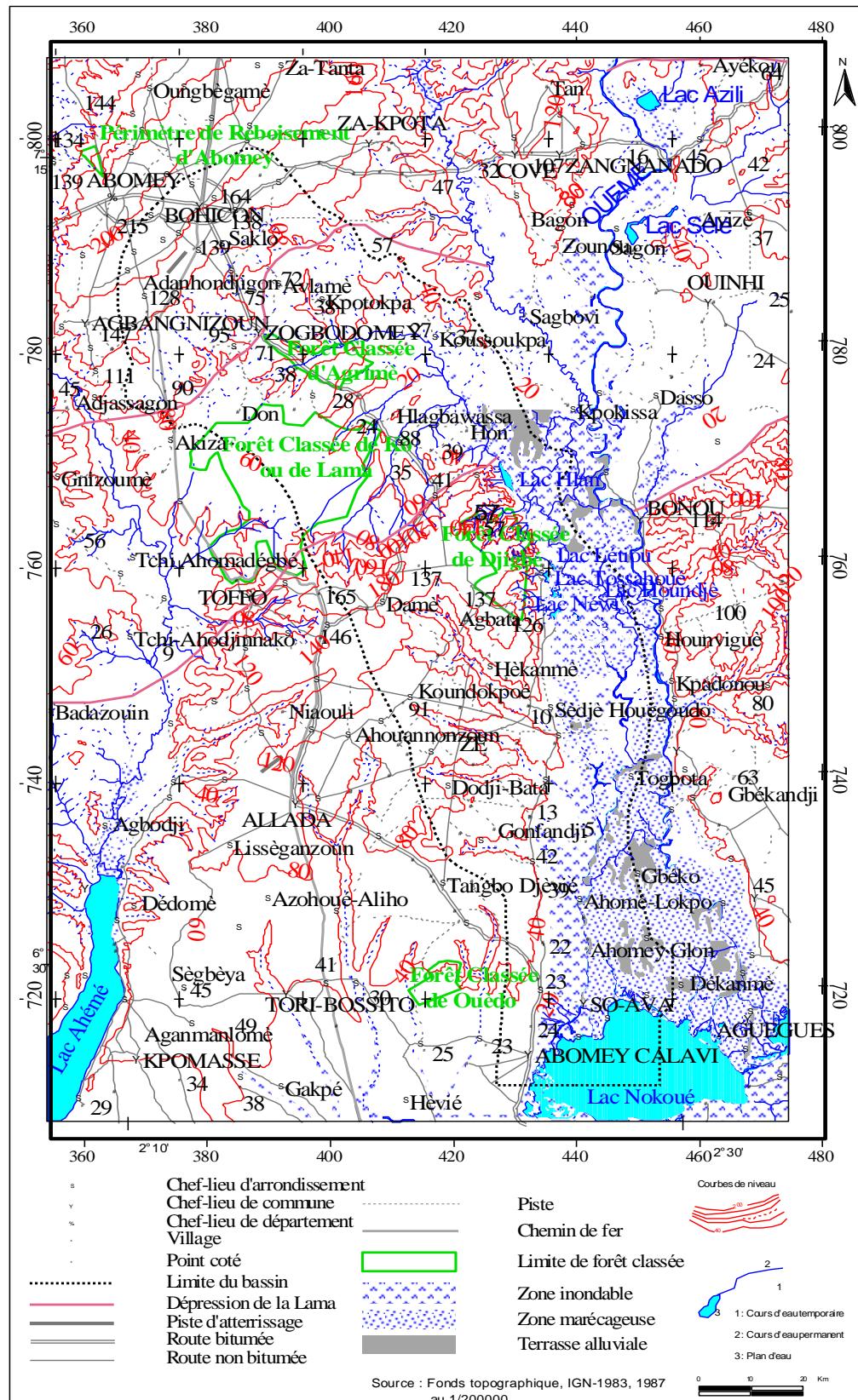


Figure 9: Relief de l'environnement du bassin

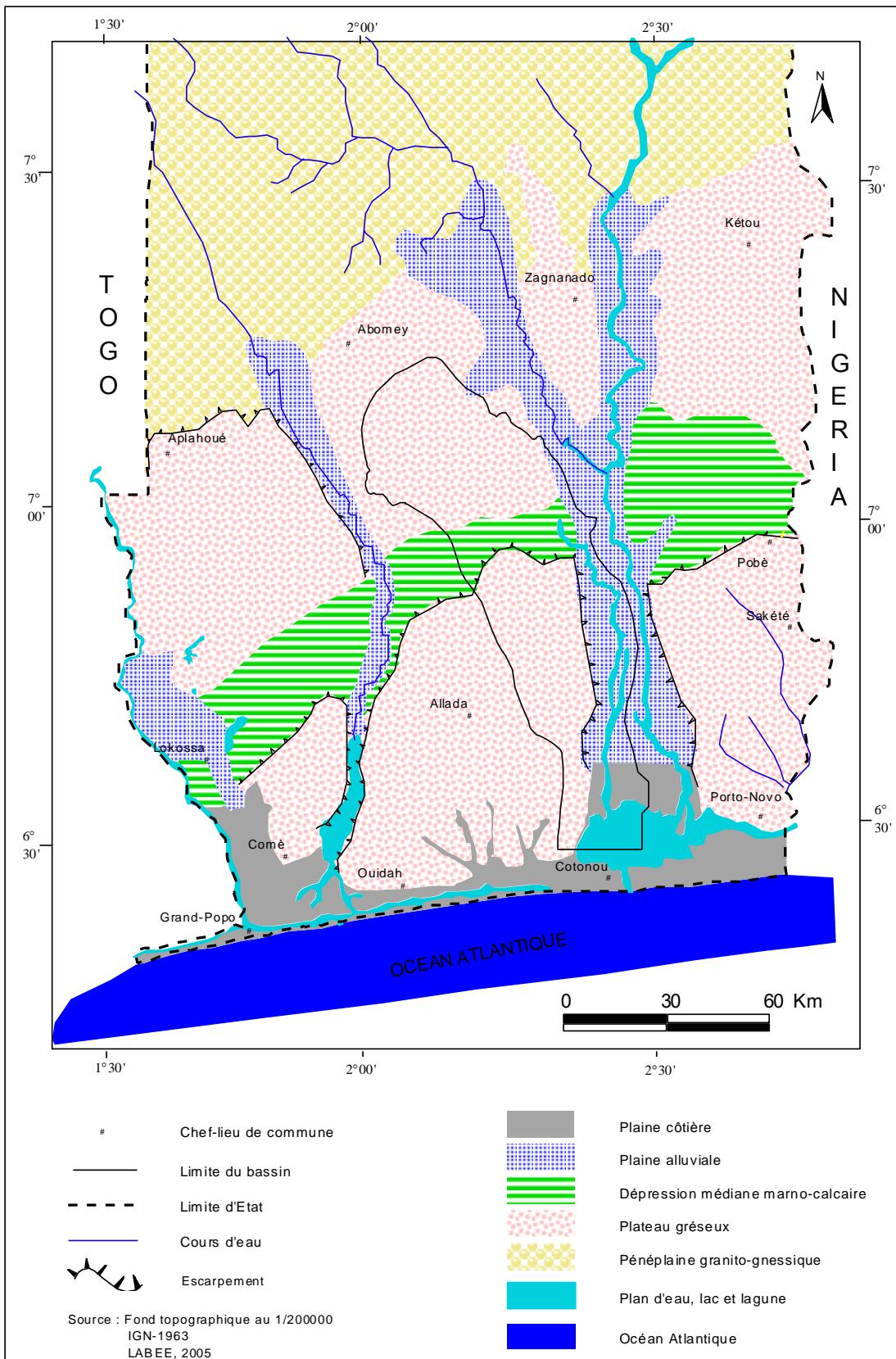


Figure 10: Esquisse géomorphologique du Sud-Bénin

1.1.3. Substratum géologique et réseau hydrographique du Sud-Bénin

1.1.3.1 Caractéristiques géologiques

L'analyse de la stratigraphie du bassin sédimentaire du Sud-Bénin a été l'objet de plusieurs recherches dont principalement celles de Slansky en 1962. Cette stratigraphie montre qu'il existe 4 séquences (figure 11) de mise en place :

- le Quaternaire récent ;
- le Continental Terminal ;
- l'Eocène et
- le Crétacé supérieur.

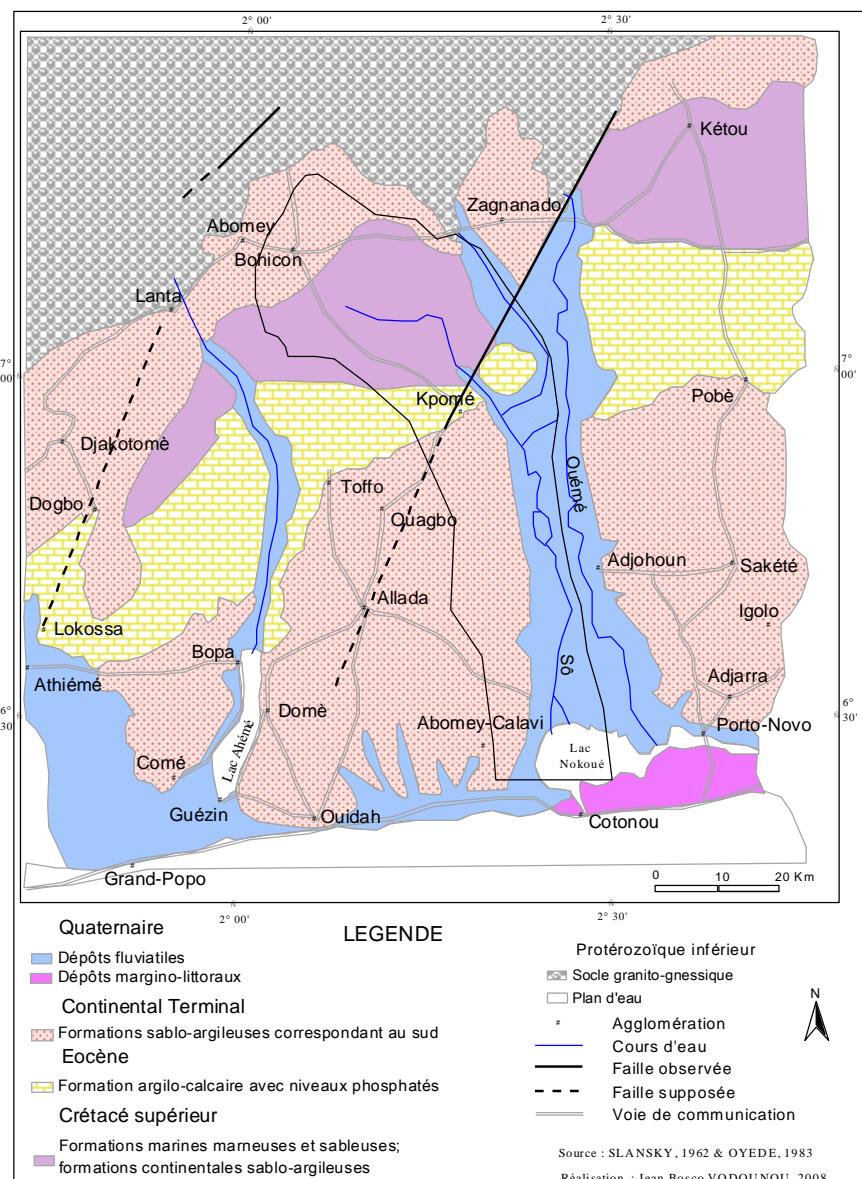


Figure 11 : Formations géologiques du Bénin méridional

a. Le Quaternaire récent

Encore appelé formations superficielles ou récentes, il occupe normalement les vallées des cours d'eau et la bordure littorale. Il est composé des dépôts margino-littoraux ou formations littorales et les dépôts fluviatiles ou formations alluvionnaires. Il recouvre le Continental Terminal et par endroit l'Eocène.

- **Les formations littorales**

Elles sont d'origine marine ; elles comportent à la partie supérieure plusieurs mètres de sable de plage blancs à grains moyens. Les formations sous-jacentes montrent une alternance de niveaux sableux et de niveaux d'argiles vaseuses. Par endroits, certains niveaux sont très tourbeux.

- **Les formations alluvionnaires**

Elles occupent les vallées des cours d'eaux et sont argilo-sableuses et peuvent atteindre plus de 100 m d'épaisseur d'après les sondages réalisés par Slansky (1962). Ces épaisseurs témoignent du niveau relatif de la mer ayant permis une érosion intense puis un remblayage considérable.

b. Le Continental Terminal

Le Continental terminal désigne un ensemble associant des faciès argilo-sableux, parfois conglomératiques. Son épaisseur dépasse une cinquantaine de mètres au sud et décroît vers le nord. Il débute avec une formation à galets interprétée comme résultant d'une rupture d'équilibre en liaison avec les phénomènes climatiques (Lang *et al.*, 1982 cités par Oyédé, 1991). On assiste ensuite à une sédimentation argilo-sableuse parfois conglomératique, résultant des remaniements d'altérites à kaolinite formées en climat tropical humide.

Ce sont des formations continentales post-éocènes. Elles recouvrent les plateaux du Sud-Bénin, tous ceux du Togo et une partie du plateau d'Aplahoué. Slansky définit dans le continental terminal, deux termes : le terme supérieur, dominé par un faciès grossier et le terme inférieur en faciès fin.

- Le terme supérieur

Le terme supérieur serait déposé après une érosion importante de niveaux antérieurs (Houessou, 1974). Il est sableux, gréseux et argileux avec des couleurs moins vives. A la partie supérieure, la couleur évolue vers le jaune, puis le brun, pour donner finalement « la terre de barre » (nom d'origine Portugaise) de texture argilo-sablonneuse. La "Terre de barre" est un mélange assez homogène rouge d'argile kaolinique et de sable quartzeux fin à moyen qui couronne le "Continental Terminal" *Sensu stricto* des plateaux. C'est une formation provenant du démantèlement de sols latéritiques (Houéssou et Lang, 1979 cités par Oyédé, 1991), c'est-à-dire un ensemble de formations sablo-argileuses présentant des caractères sédimentologiques accusés, évoquant un ruissellement en nappe.

- Le terme inférieur

Sa partie supérieure est composée de faciès fins, sableux, limoneux, argileux, dans lesquels les changements de coloration font apparaître de lits fins parallèles. Les couleurs grise, verdâtre ou ocre de la base font place plus haut à des teintes vives, blanches, jaunes, roses, rouges ou violettes. L'âge du terme inférieur est vraisemblablement l'oligocène (Slansky, 1962).

c. L'Eocène

L'Eocène occupe essentiellement la dépression de la Lama et une partie des vallées des divers fleuves où les limites avec les formations alluvionnaires sont extrêmement floues. Il est constitué de formations détritiques avec des passées gréso-calcaires. La montmorillonite constitue la moitié de la phase argileuse. Au sommet, on observe des calcaires à togocyams seefriedi. A la base, il est formé de glauconieux, de phosphate et de marne avec une dominance argileuse.

d. Le Crétacé supérieur

Il comporte dans sa moitié inférieure une formation sableuse devenant plus argileuse vers le haut. Dans sa partie supérieure le faciès est marneux avec des intercalations sablonneuses ou gréso-calcaires. Au Bénin, le crétacé supérieur occupe la partie nord de la dépression de la Lama et une partie des plateaux septentrionaux.

Les formations du bassin sédimentaire côtier ont été affectées de mouvements tectoniques. On distingue deux familles de failles à savoir :

- Failles de Lokossa et de Sèhouè de direction NNE-SSW
- Failles de Kétou-Pobè de direction ENE-SSW

1.1.3.2 Hydrographie et caractéristiques hydrologiques

Le réseau hydrographique est constitué de cours d'eau comme Hounto, Hoho, Da, et Dohoui qui alimentent le lac Hlan d'où la rivière Sô s'individualise et reçoit les eaux d'autres affluents pour devenir plan d'eau à la latitude de la localité d'Akpomé (Cf. figure 9).

a – Présentation et Origine

Située entre 6°29' et 6°52'30'' latitude Nord et 2°23'15''- 2°27'30'' longitude Est, la rivière Sô prend sa source au lac Hlan et se jette dans le lac Nokoué. Long d'environ 84 km d'après les travaux effectués par Le Barbé en 1993 (tableau 1), la rivière Sô, en rive droite a un cours parallèle au fleuve Ouémé avec lequel elle est reliée par différents bras tantôt défluents, tantôt affluents (la Zounga, l'Agbagbé, l'Ouovi et la Zouvi). C'est cet ensemble qui forme le Delta de l'Ouémé. La Sô et l'Ouémé se jettent dans le lac Nokoué respectivement aux environs de Ganvié et à l'ouest de Porto-Novo (Figure 12).

Tableau I: Parcours de la rivière Sô (origine des distances : lac Hlan)

Localités	Distances (km)
Lac Hlan	00
Ouovinou	06.0
Djigbé-Ovo	15.0
Agrangoïn	25.5
Rhampla	37.0
Togbota	53.0
Quinto-zoungomé	65.5
Sô-ava	79.9
Lac Nokoué	83.9

Source : Le Barbé, 1993

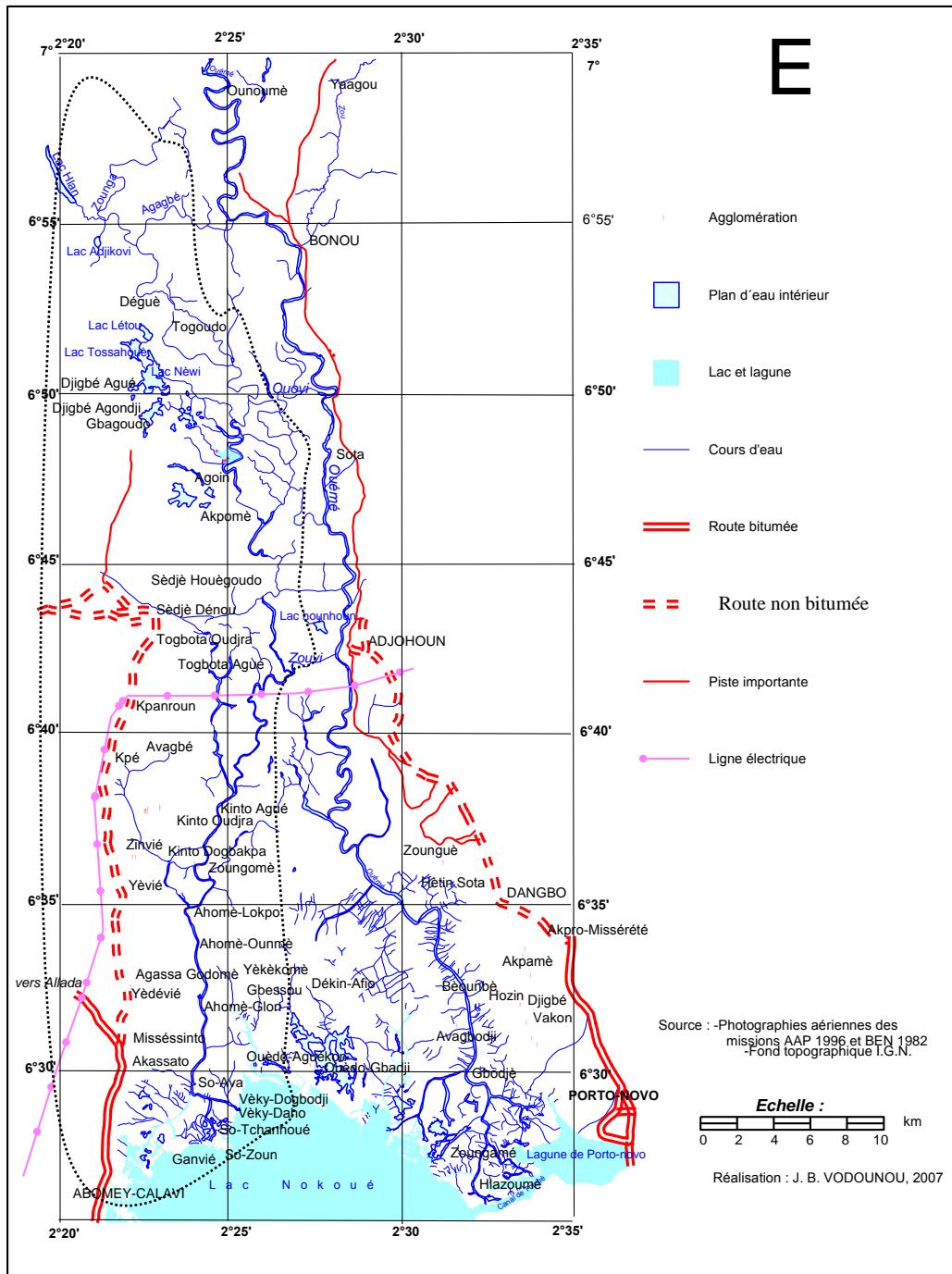


Figure 12: La Sô dans le delta de l'Ouémé

b - Mise place de la rivière Sô et de sa plaine alluviale

Le processus de mise en place de la rivière Sô importe de se replacer dans le contexte plus général de l'histoire de la mise en place du système lagunaire au Bénin et des éléments géomorphologiques qui l'encadrent, en rapport avec les variations paléoclimatiques qui ont affecté l'Afrique.

Les plateaux de terre de barre qui entourent le système lagunaire au Bénin, sont formés au cours des phases de transgressions et de régressions successives depuis la fin du secondaire (Crétacé) jusqu'au début du tertiaire (Eocène). Ces phases ont favorisé le dépôt des sédiments dans le bassin. Au Quaternaire ancien (Pliocène), des sédiments continentaux provenant du Continental Terminal ont recouvert l'ensemble du bassin. C'est à cette époque qu'on apparu des formations dites Terre de barre, qui se sont élaborées dans des conditions tropicales, mais sous un climat beaucoup plus humide (Guilcher, 1959).

Au niveau de la vallée de l'Ouémé, au nord du lac Nokoué, l'origine des sables en bordure des plateaux comme dans le cas de la plaine d'inondation de la Sô, est comparable à celle des cordons littoraux. En effet, lors du maximum transgressif Holocène, la basse vallée de l'Ouémé-Sô était transformée en un bras de mer formant une “ria”³. Lors du retrait qui a suivi, les matériaux issus des plateaux avoisinants se sont déposés en bordure de ceux-ci. Cela prouve que le Delta de la Sô-Ouémé n'est qu'un héritage issu de la régression.

c – Les eaux de surface

Les plans d'eaux du Sud-Bénin et les cours d'eau dans les basses et moyennes vallées ont une dynamique hydrologique liée d'une part aux précipitations dans le Bas-Bénin, en liaison avec les grosses pluies de la première saison des pluies et d'autre part, aux pluies du Nord du pays qui alimentent les fleuves Mono et Ouémé. Aussi, dans les milieux fluvio-lagunaires, la première crue de juin-juillet est-elle due aux pluies dans les basses vallées des fleuves et la deuxième en septembre-octobre est sous l'influence des apports d'eaux des principaux fleuves. Les basses eaux se

³ Une ria est une baie plus longue que large parfois ramifiée dont l'amont est constitué par une vallée ou un système de vallées.

retrouvent de décembre à mai. Les dénivellations entre les hautes eaux et les basses eaux varient de un (1) à deux (2) mètres, en fonction de l'importance des crues (ABE/LABEE, 2003).

Compte tenu de la topographie plate de la plaine inondable, la basse vallée de l'Ouémé-Sô est inondée dès le mois d'août jusqu'au mois d'octobre ou novembre.

d - Les eaux souterraines

Les forages de reconnaissance et d'exploitation hydrogéologique dans le bassin sédimentaire côtier réalisés par l'OBGRGM, montrent que le sous-sol est organisé en couches géologiques ou strates. Certaines renferment de l'eau et sont dites aquifères (sable, sables argileux), tandis que d'autres, imperméables, délimitent les couches aquifères (couches argileuses).

Au total, les résultats de l'étude hydrostratigraphiques et hydrodynamiques menée par l'ABE en 2003 confirment l'existence de deux aquifères bien distincts dans la bordure méridionale du plateau d'Allada : l'un superficiel est homogène et relativement peu épais ; l'autre, plus profond, est hétérogène et probablement multicouche. Son mur n'a pas été atteint par les ouvrages mécaniques existant dans la plaine littorale.

Ce sont ces horizons profonds qui sont exploités par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) pour l'alimentation en eaux potables de l'agglomération de Cotonou et de ses environs.

1.1.4 Caractéristiques pédologiques

Les études pédologiques (Volkof, 1976) mettent en évidence, dans le Sud-Bénin, fondamentalement trois unités de sol à savoir :

- des sols ferrallitiques sur les plateaux du continental terminal et sur la terre de barre surplombant vallées et dépressions. Ils représentent près de 60 % de la région sud (Azontondé, 2000) ;
- des sols hydromorphes, développés dans la vallée perpendiculairement au littoral atlantique ;
- des sols peu évolués des cordons littoraux (figure 13).

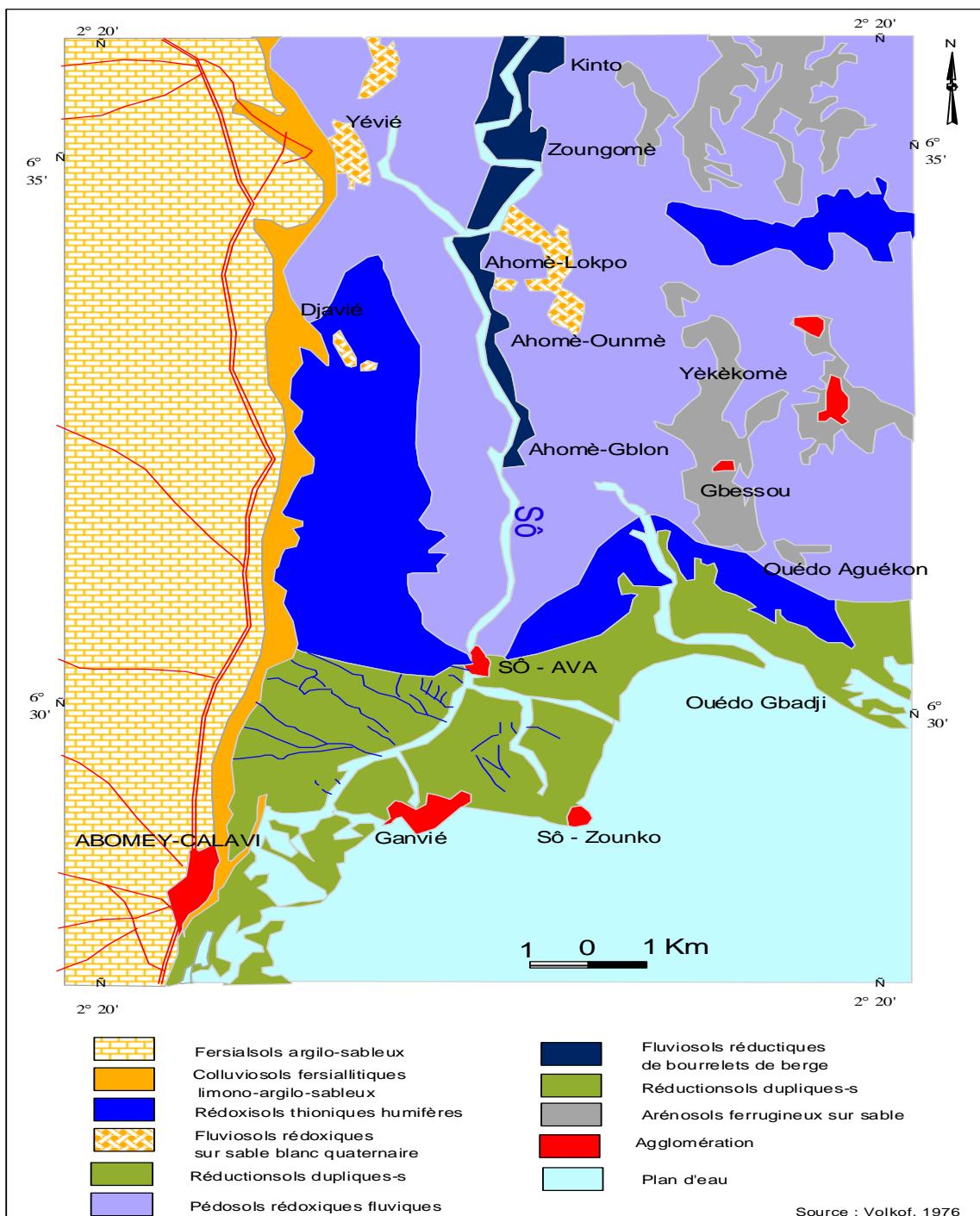


Figure 13 : Formations pédologiques de la basse Sô

La plaine alluviale de la Sô comporte plusieurs types de sols dont trois caractérisent la basse vallée Ouémé-Sô (figure 13). De plus, ces sols sont susceptibles d'être bouleversés par l'exploitation du sable.

➤ **Les Colluvisols**

Ils caractérisent les rebords du plateau du continental recouvert par la terre de barre sur une distance pouvant atteindre 600 m. Leur présence indique des formations superficielles de versants résultant de l'accumulation des matériaux recouvrant le plateau qui les surplombe. Des profils pédologiques montrent des éléments grossiers arrachés en amont et remaniés (graviers, charbons, débris de bois, etc...). Sur ces sols on retrouve des cultures pérennes (palmiers à huile), mais surtout saisonnières (manioc, patate douce, piments).

➤ **Les rédoxisols thioniques fluviques humifères**

Ils regroupent des sols hydromorphes organiques humiques à gley en surface. Ces sols, non salés, acides, se sont déposés dans des cuvettes de décantation dans un contexte alluvial deltaïque correspondant aux sols à argiles noires, décrits par Lamouroux, (1953). Ces sols sont presque toujours humides, la nappe phréatique étant présente à moins de 80 cm de profondeur en toute saison.

Ils sont occupés par une végétation constituée de graminées et de savane arbustive. Les cultures sont dominées par les palmiers raphia. Il faut noter que le pâturage domine au sud (Akassato) et le maraîchage dans la partie Nord (Villages Ahomey-Gblon, Ahomey-Lokpo).

➤ **Les réductisols duplique-sulphatosols sur matériau alluvial fluvio-lagunaire**

Ces sols entourent le lac Nokoué dans une zone constituée de marécages salés saisonnièrement. Ils sont immersés au moins six (6) mois dans l'année et ne sont accessibles que de mi-décembre à Avril. Ils présentent un horizon superficiel riche en matières organiques souvent mal décomposées.

1.1.5. Caractéristiques faunique et floristique

Il s'agit ici des peuplements végétaux et animaux rencontrés dans le secteur.

1.1.5.1 - Peuplements végétaux

Ils concernent les formations de sommet de plateau et de plaine d'inondation. Sur le plateau, la végétation est constituée de forêts dégradées, de savane arbustive, de plantation de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq), de cocotier (*Coco nucifera* L.) ou de teck (*Tectona grandis* L.F.) avec des zones de cultures annuelles dominées par le maïs et le manioc. Il existe également des forêts sacrées qui parfois sont représentées par un seul pied d'arbre séculaire.

L'ensemble des zones inondées est couvert d'une prairie basse à *Paspalum vaginatum* L. enraciné, et *Typha australis* L. caractéristique des zones humides. Sur la rivière, on constate la présence d'une importante quantité de jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms-Laub). Dans les zones qui subissent peu l'influence des eaux salées, on relève aussi des espèces herbacées comme : *Centella asiatica* (L.) Urb., *Crinum jagus* (J. Thomps.) Dandy, *Elytraria marginata* Vahl, *Oplismenus hirtellus* (L.) P. Beauv. On y rencontre aussi des plantations de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*). La mise en cultures des terres est développée dans ces zones. Il s'agit des cultures de maïs, de manioc, de la patate douce, du gombo, du piment et de la tomate.

Ces végétaux et plantes, périodiquement inondés, jouent un rôle important dans le cycle biologique de la faune aquatique ou semi-aquatique. Ils offrent en effet, des frayères convenables, des aliments et des abris sûrs contre les prédateurs (Jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms-Laub et *Paspalum vaginatum* L.).

1.1.5.2 - Peuplements animaux

Ils comportent la faune aquatique, semi-aquatique et aviaire.

Les poissons : Ils constituent le groupe le plus représenté de la faune aquatique (Lalèyè, 1997). Les espèces les plus abondantes appartiennent aux groupes des

Cichlidés (*Tilapias*, 2 espèces), Osteoglossidés (*Heterotis*, 1 espèce), Clariidés (*Clarias*, 2 espèces) et Claroteidés (*Chrysichthys*, 2 espèces).

Les crustacés : Dans la zone inondable, on retrouve principalement les crabes marcheurs *Cardiosoma armatum*, creuseurs de trous. Lorsque la plaine est inondée pendant la crue, on note également l'existence des crabes nageurs, *Callinectes latimanus*. On retrouve aussi des crevettes d'eau douce du genre *Macrobrachium*.

Les mollusques : Dans le milieu, ils sont représentés par :

- des Gastéropodes tels que : *Tymanotomus furcatus var. Gradula* Linné et *Tymanotomus furcatus* Linné, *Pachymelania aurit* Müller et *Neritina glabrata* Sowerby ;
- des Lamellibranches comme: *Corbula trigona* Hinds, *Crassostrea gasar* Adanson, *Anadara senilis* Linné *Brachydonte niger* (Cinelia), *Congeria africana* Van Beneden, *Tellina nymphallis* Lamark.

La faune aviaire : De nombreux oiseaux ichtyophages ou non existent dans ces milieux (Adjakpa, 1999). Il s'agit de ceux appartenant aux genres *Phalacrocorax*, *Ardeola*, *Egretta*, *Ceryle* etc.

Les autres vertébrés aquatiques ou semi-aquatiques : On rencontre dans ces milieux

- des reptiles Agamides, Varanides (*Varanus niloticus*), Pelomedusides, Pythonides, Elapides ;
- des grenouilles (Amphibiens, Anoures). Elles sont abondantes dans les marécages et dans les zones inondables. Les espèces *Rana occipitalis* et *Ptychadena sp.*, font l'objet de chasse dans ces milieux.

1.2. CONTEXTE DU CADRE HUMAIN

L'aspect humain prend en compte les statistiques de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) résultant des recensements de la population et de l'habitat de 1979, 1992 (RGPH 1 et 2) et les résultats du RGPH 3 de février 2002. Les estimations de l'année 2025 ont pour base les chiffres de la

population du recensement de 2002. Les formes de l'habitat et les systèmes d'exploitation concernent les localités où les enquêtes ont été menées.

1.2.1. Caractéristiques démographiques et ethnies

Les communes d'Abomey, Abomey-Calavi, Adjohoun, Agbangnizoun, Allada, Bohicon, Bonou, Dangbo, Sô-Ava, Toffo, Za-Kpota, Zè et Zogbodomey, se situent dans la partie méridionale du Bénin où la croissance démographique évolue rapidement. En effet, la population de la commune d'Abomey-Calavi, par exemple, est passée de 61101 habitants en 1979 à 126507 entre en 1992. Cette augmentation de 65 406 habitants en treize ans témoigne de la dynamique de cette population surtout si l'on sait que Abomey-Calavi est une ville dortoir pour Cotonou. Cette tendance est confirmée par les résultats du dernier recensement de 2002 avec une population pour Abomey-Calavi qui est passée à 307 745 habitants. Une estimation de la population à l'horizon 2025 consignée dans le tableau II, traduit l'évolution de cette population.

TABLEAU II : EVOLUTION DE LA POPULATION

	Effectif de la population			
	1979	1992	2002	2025
Abomey	50149	66595	78341	154613
Abomey-Calavi	61 101	126 507	307 745	606 258
Adjohoun	41 564	51 301	56 455	111 216
Agbangnizoun	38765	48166	55001	108549
Allada	62404	77107	97778	181132
Bohicon	50 819	81 890	113 091	222 789
Bonou	18474	24733	29656	58529
Dangbo	49 444	59 562	66 055	130 128
Sô-Ava	44 178	72574	76 315	150 341
Toffo	43 109	60 028	74 717	147 192
Za-kpota	49277	70226	87076	171852
Zè	39 211	55 097	72 814	143 444
Zogbodomey	46 126	58 639	72 338	142 506
Total	375 552	565 598	839 530	1 653 874

Source : D'après les statistiques de l'INSAE

Les estimations de l'année 2025 sont faites à partir de la formule suivante :

$P_n = P_c (1 + T)^{n - \alpha}$ avec P_n : la population à estimer ; P_c : la population connue; n : l'année dont on évalue la population; α : l'année dont on connaît la population et T le taux de croissance naturelle (3 %).

Le même constat s'observe en effet pour toutes les communes. Une estimation de cette population en 2025 présente des chiffres qui suscitent des réflexions. Par ailleurs, la population des treize (13) communes avoisinerait les 2 millions et demi en 2025. La figure 14 traduit cette évolution.

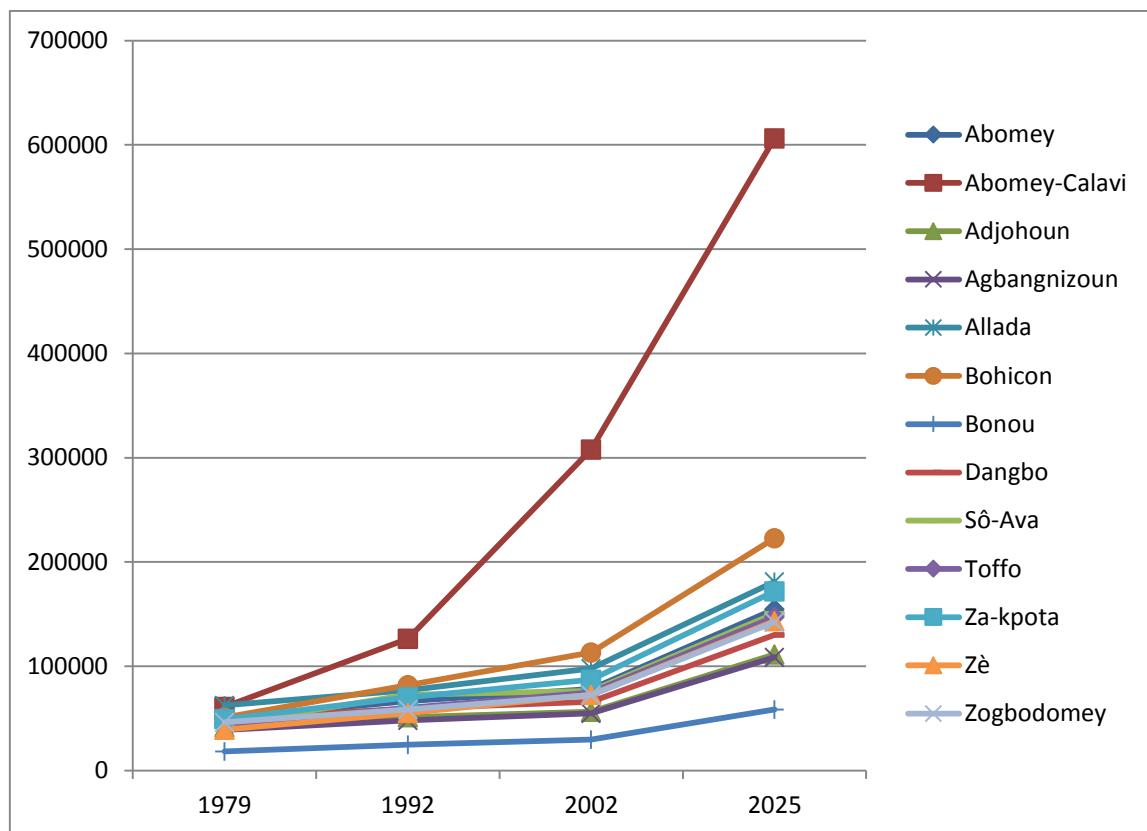


Figure 14: Evolution de la population des communes ayant une partie de leur territoire dans le bassin

Ce graphique montre la tendance évolutive de la population des treize communes. Il faut remarquer que l'évolution de la population de la commune d'Abomey-Calavi est beaucoup plus liée à sa position sur le plateau. L'installation se fait en effet sans trop de difficultés. Elle sert de ville dortoir pour les travailleurs de Cotonou où les nuisances de toutes sortes ne permettent plus une vie paisible. Quant aux autres communes elles sont très proches l'une de l'autre sauf Bohicon qui prend son ascendant vis-à-vis des autres du fait de sa position de ville carrefour et point de rupture de charge entre le nord et le sud du pays.

Dans le secteur d'étude on rencontre une mosaïque de groupes socioculturels regroupés en trois ethnies : les Toffin, les Aïzo et les fon.

- Les Toffin venus de Bopa et d'Athiémé se sont établis dans les écosystèmes de plan d'eau et de plaine d'inondation dans les arrondissements de Vêkky, de Sô-Ava, de Dékanmey, de Houédo, de Sô-Tchanhoué, de Ahomey, de Kinto etc.
- Les Aïzo et Ouémènou venus du plateau d'Allada vivent dans les écosystèmes de plateau et de versant. On les retrouve également sur les terrasses et les bourrelets de berge.
- Les fon venus d'Adja Tado se sont installés dans tout le Bénin méridional et particulièrement sur les plateaux d'Abomey et d'Allada. Ils représentent 39,2 % (INSAE, 2002) de la population et constituent l'ethnie la plus dominante (figure 15).

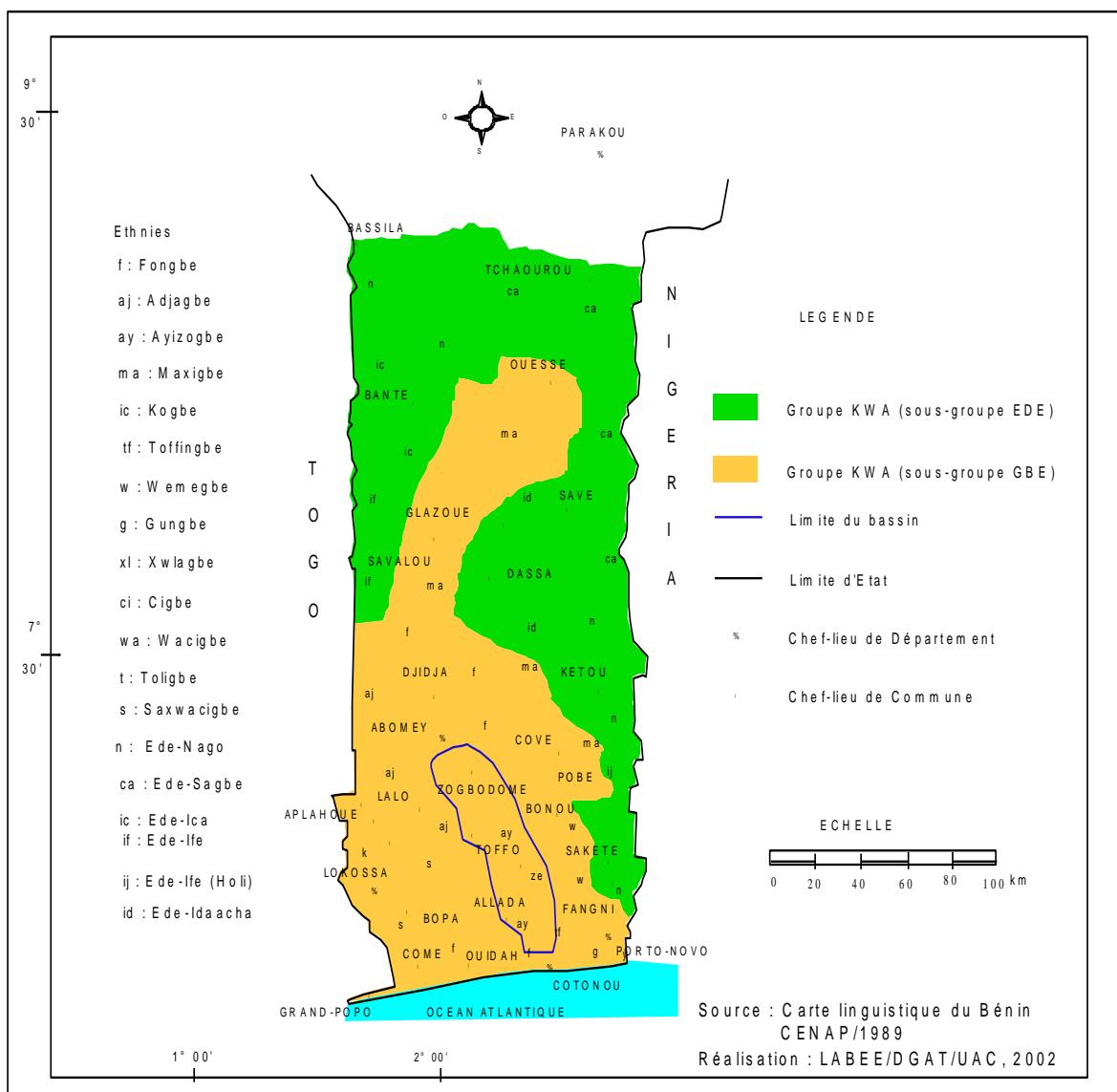


Figure 15 : Les groupes sociolinguistiques du Sud-Bénin

Ces trois groupes ethniques appartiennent au sous-groupe GBE qui lui appartient à un groupe plus large dénommé KWA. Au Sud-Bénin, le sous-groupe GBE comprend environ 20 ethnies. Ces ethnies sont plus portées vers une alimentation dont la base est essentiellement céréalière ; ici c'est le maïs et le niébé qui constituent cette base. Les racines les plus courantes sont le manioc et la patate douce.

1.2.2. Structure des ménages

Lors du troisième recensement (INSAE, 2002), 1 210 463 ménages ordinaires ont été dénombrés dont 696321 (57,5%) en milieu rural et 514 142 (42,5%) en milieu urbain. Si dans les habitudes béninoises, le statut du chef de ménage est conféré aux hommes (77,3% des ménages en 2002), une proportion non négligeable de femmes (22,7%) porte ce statut. Elles se retrouvent généralement parmi les veuves (29,1%), les femmes en mariage monogamique (27,1%) et polygamique (15,7%) mais ne vivant habituellement pas dans le ménage de leur époux.

La taille moyenne des ménages est de 5,6 personnes. Elle est passée de 4,5 personnes en 1961 à 5,4 personnes en 1979, puis 5,9 personnes en 1992 et 5,6 personnes en 2002. Pour l'ensemble du Bénin, 40,8% des ménages ont au moins six personnes. Les ménages de grandes tailles se rencontrent dans les départements du Nord Bénin : l'Alibori (8,3 personnes par ménage), la Donga (8,2 personnes), le Borgou (7,8 personnes) et l'Atacora (7,3 personnes). Les départements constitués des ménages de faible taille sont le Littoral (4,5 personnes par ménage), le Mono et le Zou (4,9 personnes) et l'Ouémé (5 personnes). La situation dans les 13 communes du secteur d'étude se présente comme suit (figure 16) :

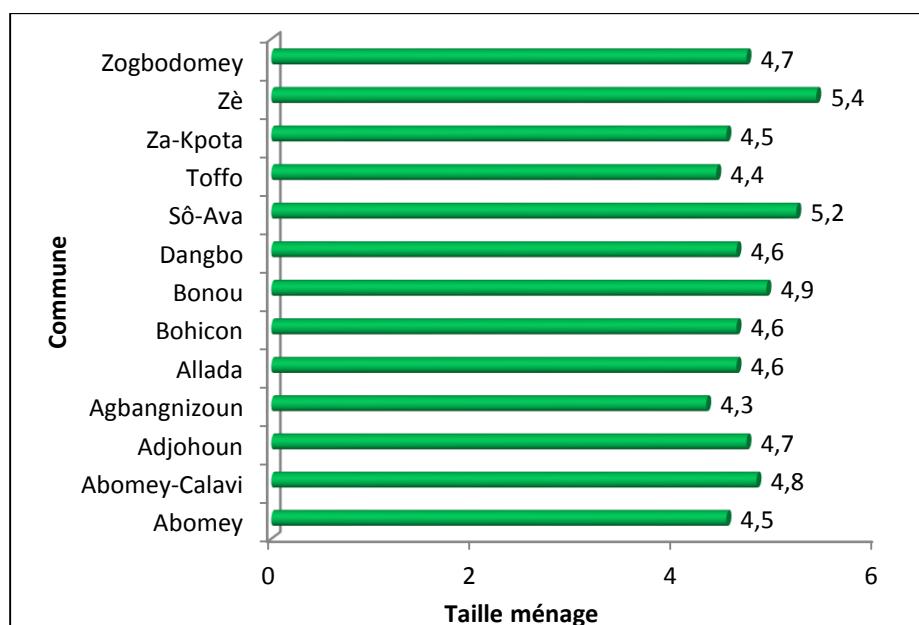


Figure 16 : Taille moyenne des ménages par commune

Tous les ménages du territoire du bassin sont composés en moyenne d'au moins 4 personnes.

1.2.3. Types d'habitat

Les données du Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2002 indiquent que, dans le secteur d'étude, 51,9% des ménages vivent dans les propriétés familiales, 26,7% vivent chez eux sans titre foncier et 16,0% sont locataires. Seulement 1,93% des ménages possèdent le titre foncier de leur propriété. Toutefois, on remarque que la proportion des ménages habitant chez eux ou dans une propriété familiale a augmenté fortement passant de 59,7% en 1992 à 80,5% en 2002.

Ce recensement révèle que 71,9% des unités d'habitation sont couvertes de tôles et 22,8% de paille. La dalle ne représente que 2,2% des toitures alors qu'en 1992 les tôles ne couvraient que 67,1% des unités d'habitation et 28,4% des unités d'habitation étaient couvertes de pailles. Les murs en banco, bien qu'en régression (62,8% en 1992) dominent toujours les unités d'habitation à 54,7%. Les constructions en brique ne représentent que 32 % des constructions contre 23,1% en 1992. Les murs en bambou (*Bambusa abyssinica* A.Rich) sont à 6,01% des unités d'habitation et ceux en semi-dur 4,8%. Pour le revêtement du sol, 55,8% des unités d'habitations utilisent le ciment, 40,2% la terre et 1,5% le bois. Le carreau ne couvre que le sol de 1,3% des unités d'habitation. Ces habitations sont regroupées en deux types d'habitat : l'habitat groupé, l'habitat dispersé.

L'habitat groupé est la caractéristique surtout des centres urbains. Ce type est constitué de regroupement de case dans une concession rectangulaire ou circulaire. La cour centrale sert souvent de place publique.

L'habitat dispersé est souvent caractérisé par des maisons isolées et se rencontre surtout en milieu rural. Autour de ces maisons sont installés des champs appelés "champs de case" (photo n° 1). En milieu rural, les toitures sont en matériaux précaires et proviennent des ressources naturelles. Les espèces les plus utilisées sont le *Tectona grandis* L. f., *Elaeis guineensis* Jacq., *Bambusa abyssinica* A. Rich *Andropogon squamulatus* (Hochst), *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. Beaucoup d'autres espèces sont utilisées dans la construction des habitations dans le bassin.



Photo 1a : Type d'habitat semi-moderne dans les écosystèmes de plan d'eau à Sô-Tchanhoué

*Il est observé sur cette image au premier plan, la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) à la surface du plan d'eau; en arrière plan trois cases sur pilotis avec à l'extrême gauche une douche.*

Cliché VODOUNOU, novembre 2001



Photo 1b : Type d'habitat moderne des écosystèmes de plateau et versant à Toffo

On constate ici une cour tapissée d'herbe servant de gazon et taillée régulièrement avec une habitation en matériau définitif dans un paysage de campagne.

Cliché VODOUNOU, octobre 2006

Photo 1: Paysage de l'habitat dans les différents écosystèmes du bassin

1.2.4. Activités économiques

Dans le bassin de la Sô les principales activités économique recensées concernent : l'agriculture, la pêche, l'élevage, l'exploitation de sable, l'exploitation forestière, la cueillette de plantes médicinales, le commerce et le transport. Parmi ces activités, l'agriculture et la pêche viennent en tête.

Dans les écosystèmes de plateau, de versant et parfois de plaine d'inondation l'activité principale est l'agriculture et occupe plus de 90 % des hommes (Vodounou, 2002). Dans les environs du lac Nokoué, il y a par contre peu d'agriculteurs. L'activité principale dans ces zones est la pêche et l'exploitation du sable. Partout, l'élevage est une activité complémentaire.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans l'ensemble, le bassin à travers ses ressources naturelles offre d'énormes possibilités que la population essaie d'exploiter. Les variations climatiques, les formations géologiques, géomorphologiques, pédologiques, le réseau hydrographique et hydrologique influencent les ressources biologiques et le mode de vie des populations. La croissance démographique accélérée que connaisse le secteur a un impact sur les ressources naturelles tant floristiques, fauniques, en eau que minières.

Les conditions rudimentaires d'exploitation et la disponibilité limitée de certaines ressources (plans d'eau) poussent les populations à s'orienter vers d'autres activités comme l'exploitation forestière et celle des sablières. Ces reconversions dans d'autres activités font partie des stratégies d'adaptation face aux changements climatiques et provoque de profondes mutations de l'environnement.

CHAPITRE 2 : MATERIEL, DONNEES ET METHODES

Ce chapitre s'articule autour des points suivants : outils utilisés, approches méthodologiques adoptées et travaux de laboratoire.

2.1. MATERIEL

Plusieurs outils sont utilisés aussi bien pour le choix de différents transects que pour la collecte des données sur le terrain et les travaux de laboratoire.

2.1.1. Outils de planimétrie et choix des transects

Les matériels planimétriques utilisés pour le découpage écosystémique et le choix des transects se composent comme suit :

- cartes topographiques feuilles NB-31-XV de Porto-Novo 1d, 3b, 3c et 3d au 1/ 50 000 de 1968
- cartes topographiques feuilles NB-31-XXI de Zagnanado 1a et 1b au 1/50 000 de 1954 et 1987
- carte géomorphologique du sud-Bénin à 1/350 000 LABEE, 2003 et géologique de l'OBEMINES, feuille Lokossa – Porto-Novo, à 1/200 000 1989
- cartes d'infrastructure, Atlantique sud et Atlantique nord, au 1/50 000 de 1981

La superposition de ces cartes permet d'avoir une vue couplée du paysage. En effet, la combinaison des cartes topographique et géomorphologique a permis de découper le secteur d'étude en trois (03) sous-secteurs. Dans chaque sous-secteur des transects ont été choisis non seulement pour l'analyse du paysage mais aussi pour la description des systèmes d'exploitation à travers des stations choisies. Au total, 11 transects sont choisis dont 6 pour l'analyse toposéquentielle et 5 pour les stations bathymétriques (figure 17). Ces documents ont permis également de constituer la base de l'échantillonnage.

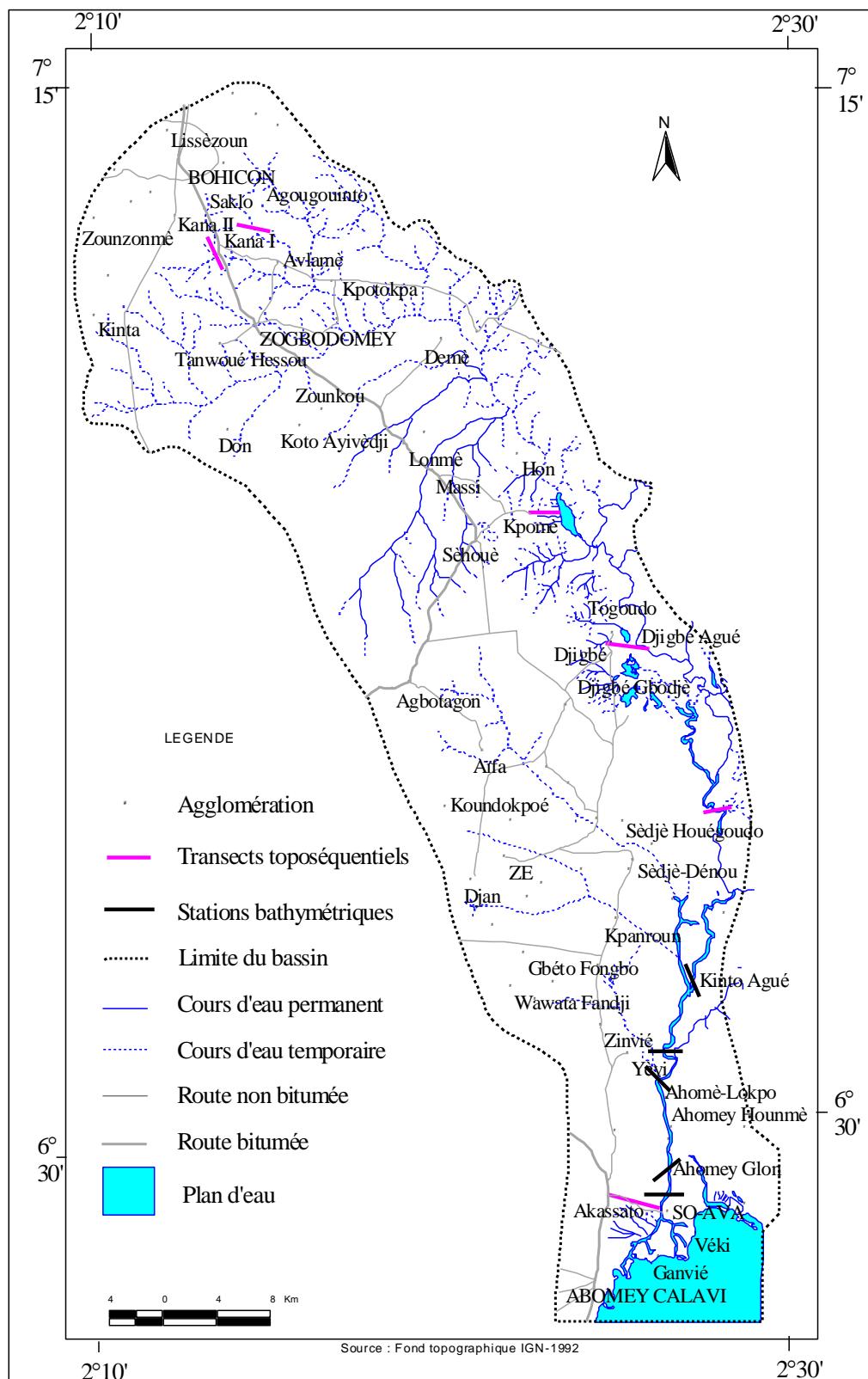


Figure 17: Localisation des transects et stations bathymétriques

2.1.2. Installation des stations d'observation

Les stations d'observation sont celles où se sont déroulées au moins 4 types d'activités : relevé floristique, mesures dendrométriques, évaluation de la quantité de matière érodée ou accumulée et l'analyse toposéquentielle. Au total, 30 stations sont installées le long de 3 transects (Akassato, Kpomè et Cana). Le dispositif expérimental est le suivant (figure 18) :

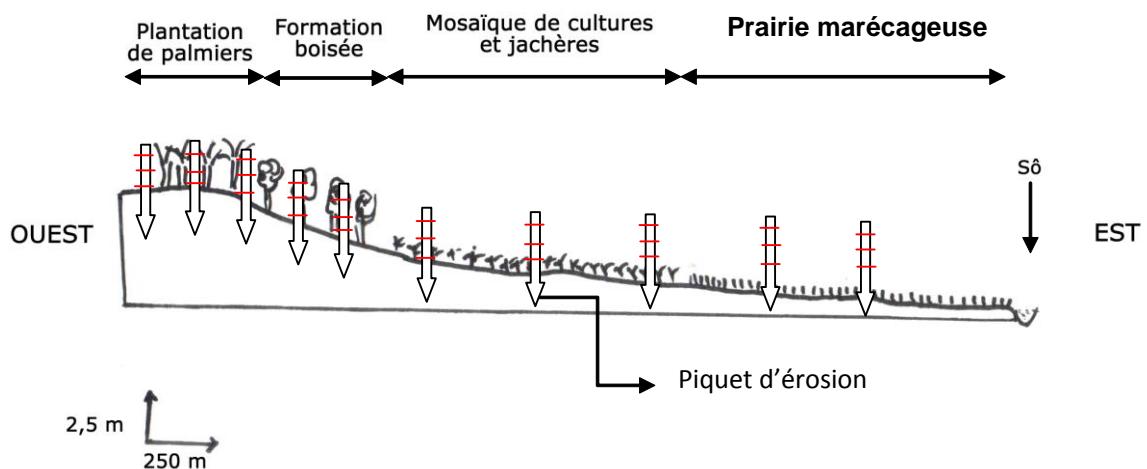


Figure 18 : Dispositif expérimental des stations d'observation

Ces piquets sont enfoncés jusqu'à une profondeur de 40 cm sur les sommets et les versants de plateau, mais seulement à une profondeur de 15cm dans la plaine d'inondation.

Le matériel utilisé est composé de :

- boussole pour la prise des azimuts ;
- ruban métrique pour mesurer l'épaisseur d'ablation ou d'accumulation ;
- piquets pour matérialiser la station ;
- ruban-pi pour les mesures dendrométriques dans les placeaux ;
- un coupe-coupe et un marteau pour l'implantation des piquets.

2.1.3. Collecte des données sur les stations d'observation et bathymétrique

Les outils utilisés pour la collecte des données sont constitués de :

- GPS (Global Positioning System) 12 XL Garmin (appareil de navigation) pour la prise de coordonnées géographiques ;

- clinimètre pour la mesure des pentes ;
- tarière pour l'analyse pédologique ;
- sécateur et matériels de confection d'herbier ;
- piquets d'érosion gradués de 50 cm de long pour mesurer la quantité de terre enlevée après chaque pluie ;
- fiche de description des sols et du paysage pour recueillir les informations issues de l'analyse pédologique et de la végétation au niveau chaque station ;
- minute d'interprétation pour le contrôle des unités d'état de surface ;
- papier millimétré format A₄ pour réaliser non seulement le profil topographique mais aussi pour le dessin parcellaire ;
- barque motorisée ou non pour le déplacement sur les plans d'eau ;
- corde de 6 m pour servir de fil à plomb pour mesurer la profondeur du cours d'eau ;
- masse de 5 kg utilisée comme lest au fil à plomb. Cette masse est choisie pour empêcher le courant d'eau de déplacer le fil lesté ;
- appareil photo numérique Pentax E20 pour la prise des images d'objets ou de phénomènes observables sur le terrain ;
- questionnaire pour recueillir diverses informations relatives aux systèmes d'exploitation.

2.1.4. Inventaire des espèces végétales

La Flore Analytique du Bénin a servi de document de base pour la détermination des espèces récoltées sur le terrain. Les chercheurs juniors de l'Herbier National du Bénin ont aidé à la récolte et à la détermination des espèces. L'outil principal utilisé pour la collecte est la fiche de relevé floristique (Annexe 5).

2.1.5. Réalisation des différentes cartes d'états de surface et de sa dynamique

Le matériel utilisé pour la réalisation des cartes d'occupation et de la dynamique de l'espace est constitué de :

- images satellites Spot de 2006 ;

- photographies aériennes, mission AAP de 1996 au 1/30 000 ;
- la carte écologique du couvert végétal du Bénin au 1/500 000 de 1978 ;
- la carte d'occupation du sol au 1/100 000 établie par le CANATEL en 2004 ;
- la carte écologique du Bénin au 1/500 000 établie par le LABEE en 2004 ;

2.1.6. Réalisation des cartes d'aptitude des sols

Pour la réalisation des cartes d'aptitude des sols, sont utilisés les matériels ci-après :

- fond topographiques feuilles NB-31-XV de Porto-Novo 1d, 3b, 3c et 3d au 1/50 000 de 1968
- fond topographiques feuilles NB-31-XXI de Zagnanado 1a et 1b au 1/50 000 de 1954 et 1987
- les cartes d'aptitude des sols au 1/500000 établies par le LSSEE en 1982

2.1.7. Les sources documentaires

Cette phase a permis de faire le point des connaissances et concepts relatifs au thème. Les centres de documentation visités sont ceux des Universités de Lomé et d'Abomey-Calavi, des institutions de recherches, des institutions étatiques et sur internet. Les documents consultés sont constitués de livres, thèses, mémoires, rapports, articles, cartes administratives, cartes topographiques, photographies aériennes, images satellites, carte de végétation et carte pédologique. Les informations recueillies sont d'ordre général sur les problèmes environnementaux, sur les zones humides et la stratégie de leur conservation et sont à caractère méthodologique.

Les documents spécifiques sur les systèmes d'exploitation et leurs conséquences sur les écosystèmes sont plutôt rares.

2.2 DONNEES ET METHODES

Un certain nombre d'approches ont été utilisées :

- l'approche systémique et intégrée dans le but de considérer tous les éléments (populations, écosystèmes) comme liés et formant un système ;
- l'approche genre afin d'appréhender les apports des hommes et ceux des femmes dans l'activité ;
- l'approche participative en vue d'impliquer tous les acteurs concernés.

2.2.1 Données

Les données utilisées sont d'ordre quantitatif et qualitatif. Les variables d'étude prennent en compte des données brutes et celles élaborées.

2.2.1.1 Données brutes

Les données brutes collectées concernent :

- les statistiques climatiques : pluie journalière, évapotranspiration potentielle (ETP), température, insolation, humidité, ... Ces données sont fournies par l'ASECNA. Le débit journalier est obtenu au service de l'hydrologie à la Direction Général de l'Eau;
- les statistiques agricoles : production, rendement, superficie, sécurité alimentaire ; ces informations sont obtenues aux Centres Régionaux pour la Promotion Agricole (CeRPA) et à la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA) ;
- les données démographiques : effectifs de la population, taux d'accroissement, densité de population, indice de pauvreté ; ces statistiques sont obtenues à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE);
- les inventaires floristiques, dendrométriques et bathymétriques ;
- les dessins parcellaires et quantification des ablutions et accumulation ;

2.2.1.2 Données élaborées

Les données élaborées sont celles qui concernent :

- la moyenne de pluie sur le bassin ;
- l'évapotranspiration réelle (ETR) ;
- la lame écoulée ;

- l'infiltration et la Réserve Utile (RU) ;
- les indices de caractérisation biophysique du bassin ;
- Les cartes d'état de surface, de la dynamique du couvert végétal, de la densité de population et autres cartes thématiques ;
- les taux d'exploitation des écosystèmes (analyse toposéquentielle) ;
- les indicateurs de dégradation (érosion, comblement, ...) ;
- les indices de couverture végétale Kv
- l'évaluation des impacts par système d'exploitation

2.2.2 Méthodes

Les méthodes utilisées sont multiples et prennent en compte les aspects physiques et biologiques du bassin ainsi que les modifications issues des modes d'exploitation des ressources des différents écosystèmes.

2.2.2.1 Découpage écosystémique

Le secteur d'étude est découpé en trois sous-secteurs suivant la combinaison de quatre critères :

- 1) caractéristiques topographiques ;
- 2) caractéristiques géomorphologiques ;
- 3) caractéristiques hydrographiques ;
- 4) prépondérance des systèmes d'exploitation.

Ce découpage prend en compte les principes de l'approche écosystémique développés par John Donne (1629), Jacob Bronowski (1970) et Gregory Bateson (1980).

Ainsi, on distingue : la Basse-Sô ; la Moyenne-Sô ou le complexe fluvio-lacustre de la Sô et enfin la Vallée supérieure (figure 19).

§1- La Basse-Sô

Les critères physiques et géomorphologiques qui ont servi à l'identification de cette partie sont : le delta stricto sensu, la basse vallée de la Sô, l'individualisation de plan d'eau continu, plaine d'inondation assez développée. Le système d'exploitation le plus prépondérant a rapport à la pêche suivi de la production minière et de l'élevage.

§2 - La Moyenne-Sô ou le complexe fluvio-lacustre de la Sô

La moyenne vallée est caractérisée par une plaine d'inondation peu développée avec une interruption par endroits du cours d'eau, la présence de petits lacs, un versant escarpé. Ici le plan d'eau n'est pas continu et est caractérisé par un réseau de chenaux et de lac. Les systèmes d'exploitation en cours concernent la production végétale et animale.

§3 - Le bassin supérieur

Cette partie est caractérisée par un réseau dendritique et une absence de plaine d'inondation. Elle correspond à la partie amont du bassin où les eaux sont collectées de partout pour alimenter le lac Hlan. Le système de production le plus prépondérant est la production végétale.

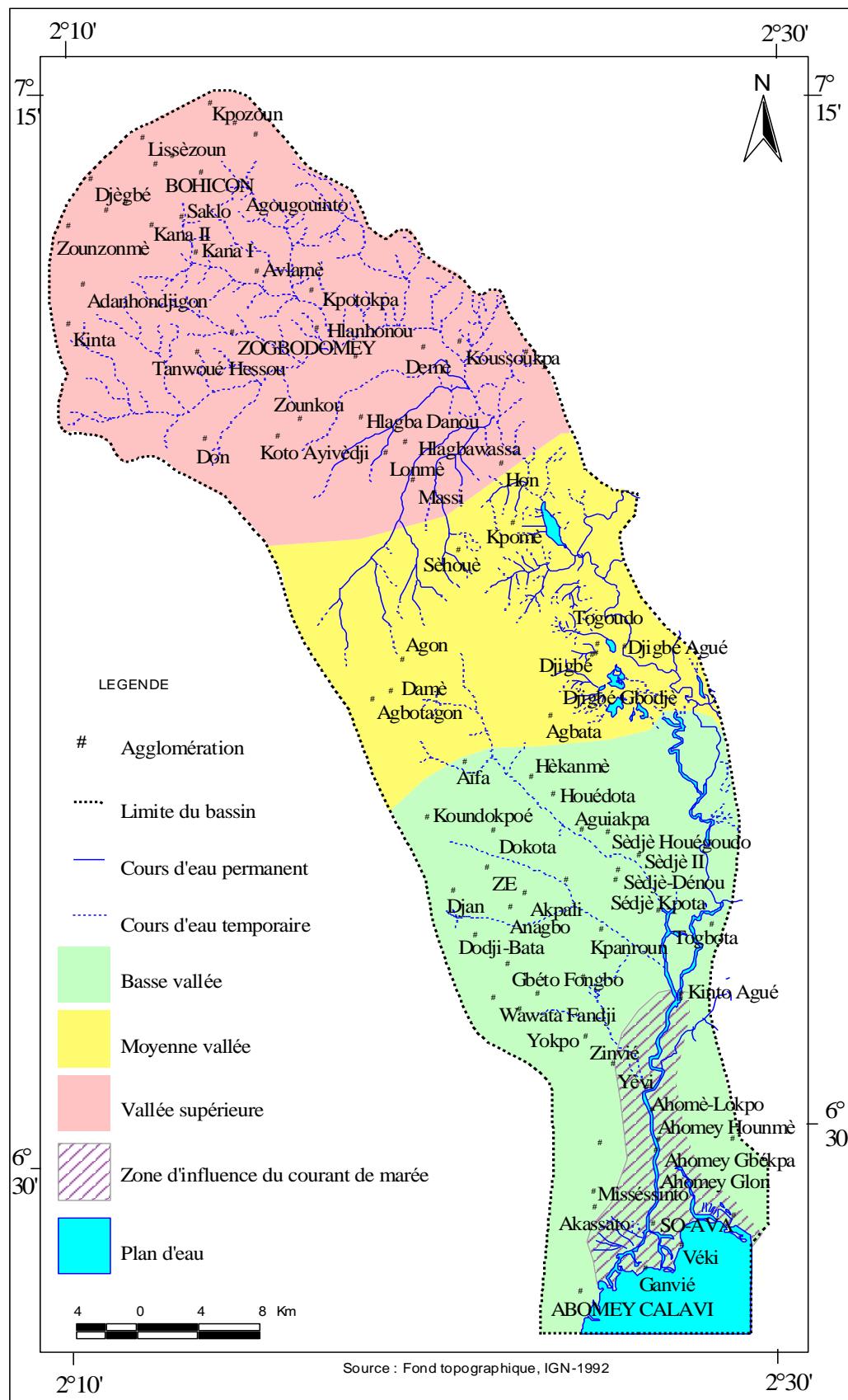


Figure 19: Découpage écosystémique du bassin de la Sô

2.2.2.2 Propriétés physiques et biologiques du bassin

Les paramètres physiques sont déterminés par des indices qui renseignent sur les caractéristiques géométriques du bassin. Les caractéristiques biologiques concernent la végétation, la faune et la flore ainsi que la composante humaine.

2.2.2.2.1 L'indice de compacité

Il est également appelé coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie:

$$I_{comp} = 0,282 \times P \times S^{-\frac{1}{2}} \text{ où :}$$

P est le périmètre stylisé du bassin en km;

S est la superficie du bassin, en km^2 .

Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

2.2.2.2.2 L'indice global de pente

C'est l'indice caractérisant le relief d'un bassin. Il est défini par la formule:

$$Ig = \frac{D}{L}$$

où :

- D représente les dénivелées, exprimées en mètre, séparant les altitudes ayant approximativement 5 % et 95 % de la surface du bassin au-dessus d'elles. Ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique ;
- L est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km. Il est calculé à partir de la formule suivante ;

$$L = \frac{I_{comp} \cdot \sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_{comp}} \right)^2} \right)$$

S est la superficie du bassin en km^2 , I_{comp} est l'indice de compacité

- Ig est exprimé en m/km.

2.2.2.2.3 La dénivélée spécifique (Ds)

La dénivélée spécifique est le produit de l'indice de pente global (Ig) par la racine carrée de la superficie du bassin (S). Elle s'exprime en mètre et est indépendante, en théorie, de l'aire du bassin.

$$Ds = Ig \times \sqrt{S}$$

Ig : Indice global de pente ;

S : est la superficie du bassin versant, exprimée en km^2 . On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de Ds :

Relief faible	$Ds < 50 \text{ m}$
Relief modéré	$50 \text{ m} < Ds < 100 \text{ m}$
Relief fort	$100 \text{ m} < Ds$

2.2.2.2.4 La densité de drainage (Dd)

La densité de drainage est le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tous ordres et de la superficie du bassin versant.

$$Dd = \frac{L_t}{S} \quad \text{avec}$$

L_t : longueur totale des cours d'eau de tous ordres

S : superficie du bassin

2.2.2.2.5 L'étude du bilan hydrologique

L'équation du bilan hydrologique (Le BARBE et al., 1993) au cours d'une période peut s'écrire de la façon suivante :

$$\boxed{P = E + L + I + (S_1 - S_0)} \quad \text{Avec}$$

P = pluie, en mm

E = évaporation, en mm

L = écoulement, en mm

I = infiltration, en mm

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

2.2.2.6 L'étude du bilan hydrique

L'équation du bilan hydrique pour une unité morpho-pédologique au cours d'une période peut s'écrire de la façon suivante :

$$P = ETR + RU \quad \text{Avec}$$

P = pluie ; ETR = évapotranspiration réelle ; RU = Réserve utile

2.2.2.7 L'analyse bathymétrique

La mesure de la bathymétrie est faite à partir d'une technique artisanale. Elle est basée sur la connaissance au préalable des coordonnées géographiques des points où les mesures sont effectuées. Une corde lestée et graduée (figure 20a) est tendue puis enfoncee au fond de l'eau ; la profondeur est directement lue sur la graduation. Cette méthode s'apparente à celle utilisée par Oyédé en 1991 pour le cours de la Sô et du lac Ahémé.

La détermination des profondeurs dans un milieu aquatique est une activité particulièrement délicate puisqu'elle nécessite la quantification de trois grandeurs que sont :

- la position à laquelle se fait la mesure notée "L" et correspondant à la distance horizontale entre deux points consécutifs à la surface de l'eau ;
- la hauteur d'eau en ce point notée "h" et correspondant à la profondeur ;
- l'azimut "Z" qui indique la direction choisie afin d'éviter les biais de direction.

La technique de travail (figure 20b) consiste à prendre les mesures avec une équidistance d'un mètre. Toutefois, afin d'avoir une bonne précision sur la forme du lit, si entre deux points de mesures l'écart entre les profondeurs est trop grand, une, deux voire trois mesure (s) (0,25 m, 0,5 m, 0,75 m) est/sont encore prise (s) entre ces points.

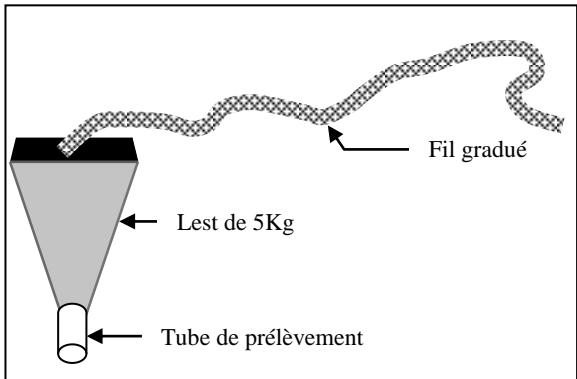


Figure 20a : Fil lesté

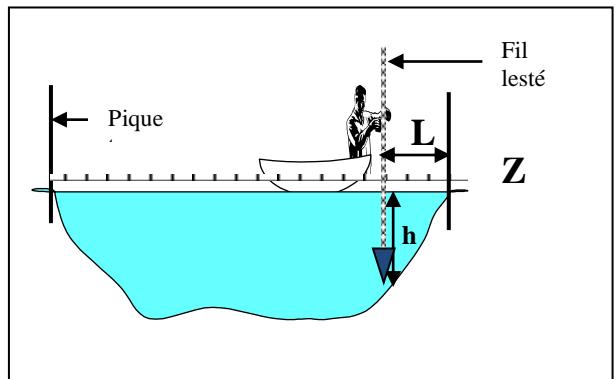


Figure 20b : Technique de travail

Figure 20: Technique de mesures bathymétriques

Le point zéro correspondant à la surface du plan d'eau est déterminé avec délicatesse. En effet, ce point est choisi par rapport à la berge à l'étiage correspondant au lit mineur. Cette technique permet d'avoir le profil réel du cours.

2.2.2.2.8 L'analyse du bilan sédimentologique

Le bilan sédimentologique (Bs) a été évalué à deux niveaux. Le premier dans la rivière et désigné par Bs_r et s'exprime par la relation :

$$Bs_r = (C_c + C_p) - Q_e \quad \text{avec :}$$

- C_c charge apportée par la crue
- C_p charge apportée par le ruissellement
- Q_e quantité extraite par la population dans la rivière.

Le deuxième bilan est évalué sur le plateau, son versant et la plaine d'inondation et s'exprime par la formule :

$$Bs_p = \frac{\sum di}{n} \quad \text{avec}$$

- di , volume (m^3) de sédiments ablatés ou déposés par m^2 au niveau d'un piquet d'érosion
- n , le nombre de piquets installés dans la plaine d'inondation, sur le versant et sur le plateau.

En effet, trois niveaux de mesure ont été considérés : sommet de plateau, versant et plaine d'inondation. Sur sommet et versant, il a été observé une perte de

terre. Par contre, dans la plaine c'est une accumulation qui s'effectue. A chaque niveau, la hauteur de terre déplacée ou accumulée est mesurée à l'aide des piquets d'érosion sur une placette de 1 m². La somme des quantités obtenues donne le volume de terre ablatée ou accumulée.

2.2.2.2.9 L'étude de la dynamique de l'état de surface

L'analyse diachronique s'est déroulée en quatre étapes :

- Etat de l'occupation du sol en 1978 : Cet état est étudié à partir de la carte écologique de 1978 établie par le Projet pilote de la FAO et du PNUE sur la surveillance continue de la couverture forestière.
- Etat de l'occupation du sol en 1996 : L'interprétation des photographies aériennes au moyen du stéréoscope à miroir de la mission AAP de 1996 et le contrôle terrain ont permis d'établir la carte traduisant l'état de la végétation en 1996.
- Etat de l'occupation du sol en 2006 : Cet état est étudié à partir de la carte écologique de 2004 établie par l'ABE par le biais du Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) et des images satellites Spot.
- Cartographie de la dynamique de l'occupation du sol : Elle a consisté à superposer les cartes issues de l'analyse de l'occupation du sol de 1978, 1996 et 2006 pour établir celle de l'évolution de la végétation entre ces trois états.

2.2.2.2.10 L'indice de couverture végétale

Cet indice est calculé pour toutes les unités d'occupation. Il est déterminé par la formule : $Kv = \frac{\text{Surf. d'une unité d'occupation}}{\text{Surf. totale du bassin}} \cdot 100$

Il permet non seulement d'apprécier le taux d'évolution des différentes formations végétales mais également d'évaluer l'impact de l'écoulement sur le sol.

2.2.2.3 L'étude de la dynamique de la population

La dynamique de la population est étudiée à travers deux taux : la densité et le taux de croissance.

2.2.2.3.1 Densité de population

La densité de population est le nombre d'habitants au kilomètre carré (hab/km²). Elle est calculée à partir de la formule :

$$D = \frac{P}{S}$$

P = effectif de la population et S = la superficie du territoire concerné en km². Cette densité est calculée pour les années 1979, 1992 et 2002.

2.2.2.4.2 Taux d'accroissement

Le taux d'accroissement est calculé pour une période séparant deux recensements : C'est le taux intercensitaire. Il est déterminé à partir de la formule :

$$TC = \frac{P^f - P^i}{(f-i) * (\frac{P^i + P^f}{2})} \text{ avec}$$

“i” et “f” désignant respectivement le début et la fin de l’observation, P^i et P^f étant respectivement la population en début et en fin de période d’observation.

Ce taux de croissance tel que calculé correspond à l’hypothèse d’une évolution linéaire.

2.2.2.3.3 L'inventaire des activités de production

Les activités de production ont été inventoriées à travers deux techniques. Le premier a été effectué à travers les transects installés. En effet, lors des mesures le long des transects, toutes les activités rencontrées sont enregistrées. Par ailleurs, le second inventaire est fait à partir des questionnaires.

2.2.2.3.4 Les enquêtes socio-économiques

Une enquête socio-économique a été réalisée dans les villages sélectionnés (Cf. tableau IV). Elle a permis de collecter des informations d’ordre général sur les activités dans les différents écosystèmes, sur les systèmes d’exploitation ainsi que la valeur accordée par les populations aux écosystèmes.

❖ *Echantillonnage*

La base physique choisie pour l'échantillonnage est le découpage écosystémique. En effet, l'enquête socio-économique a tenu compte de la spécificité de chaque sous-secteur (figure 21).

Choix des villages d'enquête

Trois critères ont permis de choisir les villages d'étude :

- découpage du secteur d'étude en sous-secteur ;
- répartition des villages par sous-secteur ;
- nombre de villages recensés par sous-secteur.

L'échantillon des villages a été déterminé grâce à la technique d'enquête par sondage. Elle utilise la méthode des quotas qui repose sur le choix raisonné. Le quota affecté à chaque écosystème est déterminé au moyen de la formule $n = N \times f$ avec n la taille de l'échantillon, N le nombre total de villages recensés par écosystème, f le taux de sondage, fixé dans le cas d'espèce à $5/20$. Ce taux f appliqué à chaque écosystème a permis de dégager le nombre de villages par unité écosystémique. L'enquête a pris en compte à travers les ménages ciblés 55 agriculteurs, 45 pêcheurs, 30 éleveurs, 74 exploitants forestiers et 45 exploitants de sable, on obtient une taille d'échantillon de 155 ménages pour 249 individus. Les villages choisis par écosystème sont consignés dans le tableau IV qui suit.

Tableau III : Caractéristiques de l'échantillon enquêté

Unité	Appellation des sous-secteurs	Nombre de villages échantillonnés	Nombre de ménages enquêtes (taux de sondage 5/20)	Villages choisis
1	La Basse-Sô	11	55	Abomey-Calavi, Ahomey-Lokpo, Ahomey-Gblon, Ganvié, Kinto-Agué, Togbota, Sèdjè-Dénou, Sô-Ava, Vekky, Wawata-Fandji, Zinvié.
2	La Moyenne-Sô ou le complexe fluvio-lacustre de la Sô	10	50	Agbata, Agbotagon, Damè, Djigbé, Djigbé-Agué, Hèkamè, Kpomè, Sèdjè-Houégoudo, Sèhoué, Zè.
3	La Vallée supérieure	10	50	Avlamè, Bohicon, Cana, Hon, Hlanhonou, Koussoukpa, Massi, Saklo, Zogbodomey, Zoukou.
Nombre total de villages		31		
Nombre de ménages/village		05		
Nombre total de ménages		155		

Source : Résultats d'enquêtes, 2007

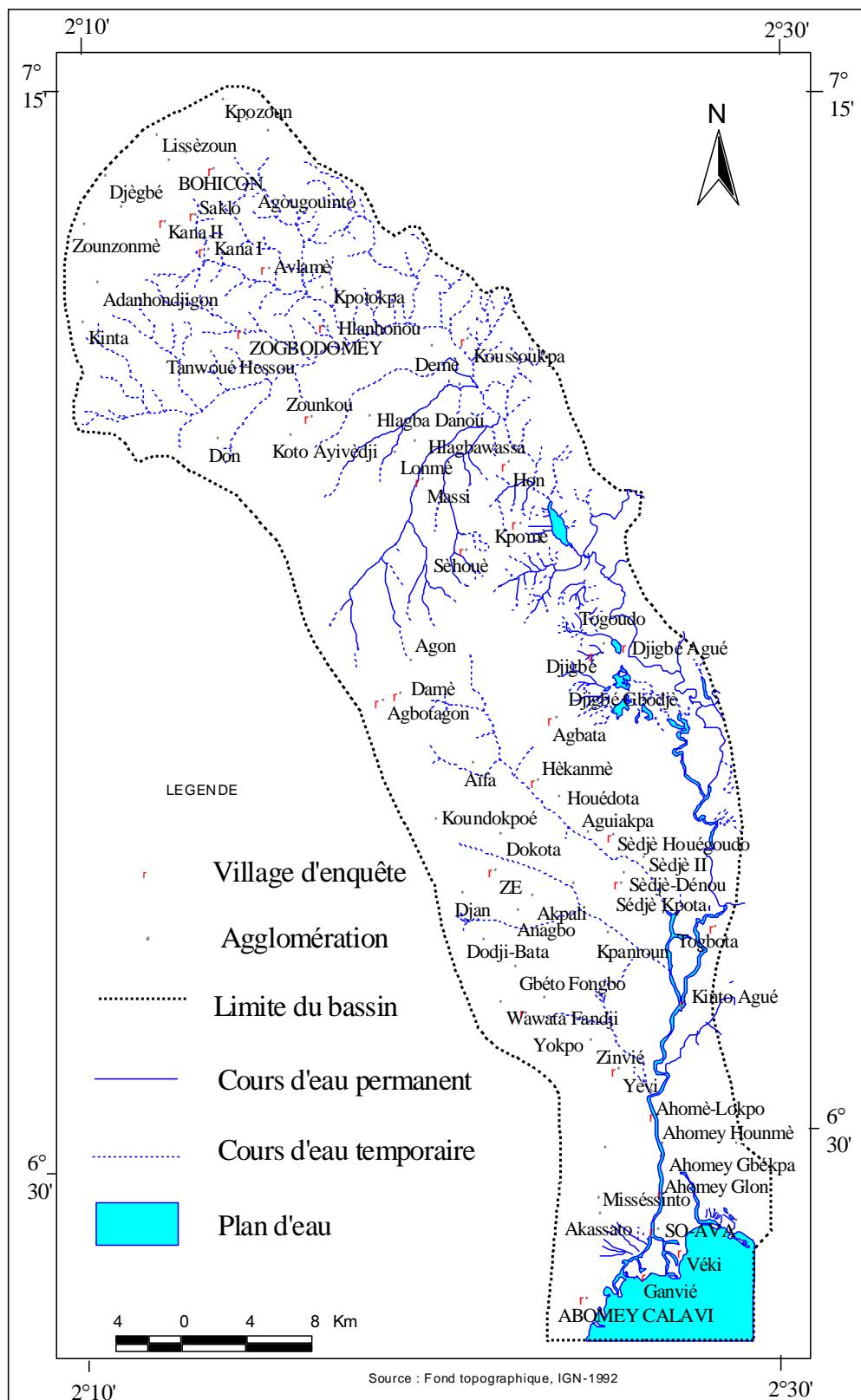


Figure 21 : Carte d'échantillonnage

Par ailleurs, la méthode ECRIS (Enquête Collective Rapide d'Identification des Conflits et Groupes Stratégiques) a permis d'identifier les conflits fonciers entre les différents groupes d'acteurs (agriculteurs/éleveurs, agriculteurs/sabliers, agriculteurs/agriculteurs, pêcheurs/pêcheurs, agriculteurs/exploitants forestiers).

2.2.2.3.5 Le Modèle PEIR

Cette technique a été utilisée pour recueillir des informations sur l'évolution du bassin, son comportement, sa dynamique. De ce fait, elle impose un groupe cible : des personnes ayant vécu plus de vingt ans en continu dans le secteur. Ils sont supposés être des témoins des modifications de forme du bassin et ayant des connaissances certaines sur la rivière Sô. Le modèle se présente comme suit (figure 22) :

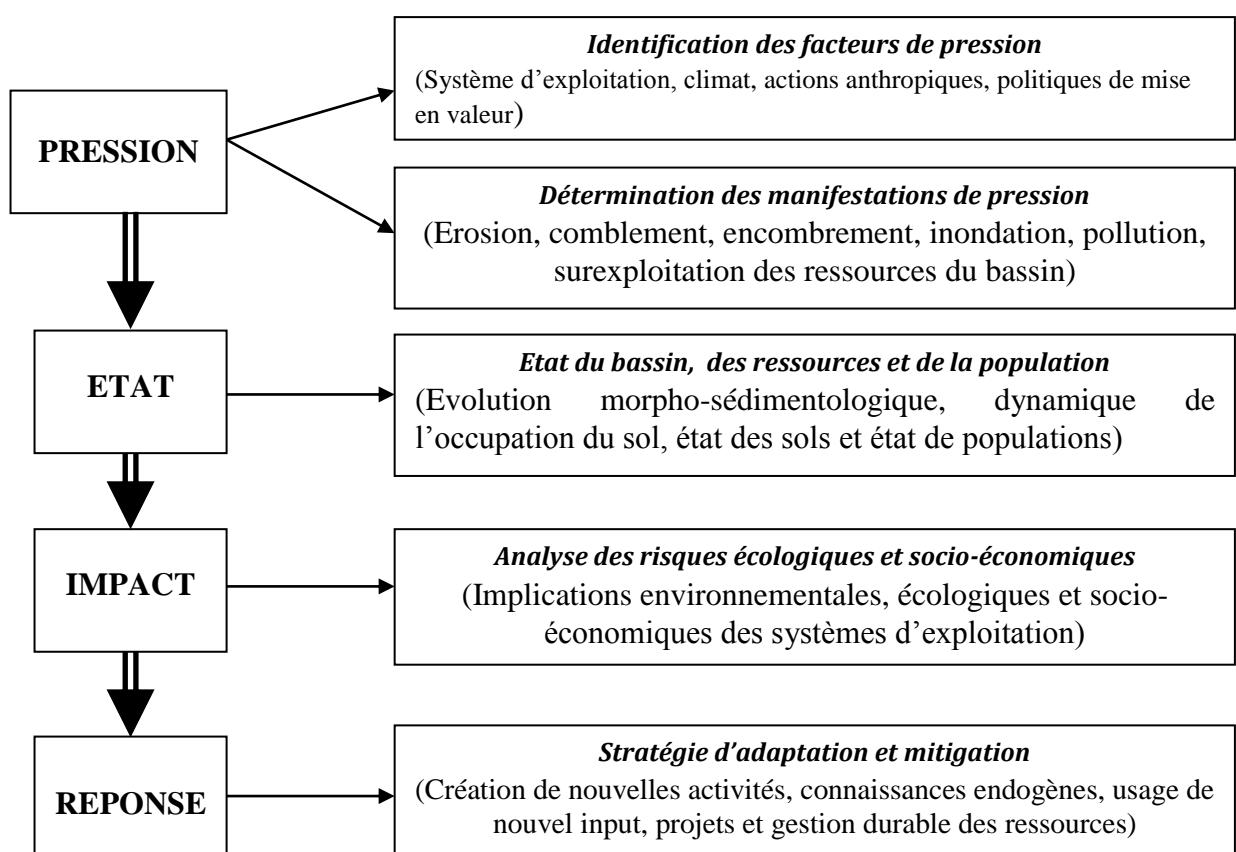


Figure 22: Schématisation de la méthode PEIR

2.2.2.4 Cartographie

Les cartes sont des représentations graphiques qui véhiculent des informations à travers les symboles conventionnels. Elles peuvent aussi être considérées comme un langage. Le langage graphique est un système qui possède en propre certaines particularités :

- message aisément structuré (vision globale de l'image, vision fine, plans de lecture) ;
- Propriétés positionnelles et relationnelles intrinsèques permettant : de localiser les phénomènes, de mettre en valeur les relations spatiales ;
- Relative universalité.
- Subjectivité du langage cartographique, en effet, comme moyen de communication la carte est le fruit d'une sélection et d'une interprétation de données qui portera la marque de son auteur, si intègre soit il.

2.2.2.4.1 Les étapes suivies pour l'élaboration des différentes cartes d'états de surface

Trois étapes importantes sont nécessaires pour établir les différentes cartes d'occupation : la photo-interprétation, la cartographie des minutes d'interprétation et l'analyse diachronique.

❖ Etape 1 : Photo-interprétation

La photo-interprétation concerne non seulement l'interprétation des photographies aériennes mais aussi l'analyse des images satellites.

§.1 Photographies aériennes

Pour mieux lire les photographies aériennes, il existe une clé d'interprétation que l'interprète se donne et qui se présente comme suit :

Tableau IV : Clé d'interprétation des photographies aériennes

Forme	Ton de Gris	Texture	Structure	Objet Identifié
Irrégulière	Moyennement gris	Peu granulé et peu lisse	Granulée et lisse	Savane arborée
Irrégulière	Gris assez sombre	Très peu lisse et assez granulée	Granulée et lisse	Savane boisée ou forêt claire
Régulière	Assez claire	Lisse à peu lisse	Homogène	Jachère ou champ nu
Irrégulière	Gris clair	Très peu granulée	Homogène	Savane arbustive
Régulière	Gris sombre	Granulée et alignée en ordre	Très homogène	Plantation
Irrégulière	Très claire	Granulée et groupée	Assez homogène	Agglomération
Sinueuse	Gris sombre	Floconnée	Assez homogène	Galerie forestière
Sinueuse	Très claire	Lisse	Homogène	Voies: route ou piste
Sinueuse	Gris sombre	Lisse	Homogène	Cours d'eau
Irrégulière	Très claire	Lisse	Homogène	Sol nu ou affleurement

Source : Résultat d'enquête, 2006-2007

§.2 Images satellites

Les images satellites sont aussi interprétées non pas avec un stéréoscope mais plutôt en considérant les tonalités des différentes unités. Ainsi, la clé d'interprétation utilisée est la suivante.

Tableau V : 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 : Résultat d'enquête, 2006-2007

❖ Etape 2 : Cartographie des minutes d'interprétation

Après l'interprétation des photographies aériennes ou des images satellites, on obtient des minutes d'interprétation. Ces minutes sont scannées et géo référencées.

§.1 Géoréférencement

Sur les minutes d'interprétation on choisit des points géodésiques remarquables dont on connaît les coordonnées. Si ces coordonnées ne sont pas connues auparavant on les détermine. Pour le géo référencement, il faut choisir au moins quatre points.

§.2 Numérisation

Après le géoréférencement vient l'étape de la numérisation qui consiste à faire passer les objets (ponctuels, linéaires et surfaciques) de la forme analogique à la forme numérique. Cette opération est faite à l'aide d'un ordinateur avec un logiciel approprié, ici Arc View.

§.3 Edition et mise en forme

Les objets transformés sont édités en leur donnant la couleur ou le symbole approprié selon les signes conventionnels et les règles de la cartographie. Ainsi, les cours d'eau et plan d'eau sont représentés en bleu et la végétation en vert. D'autres couleurs sont aussi utilisées pour rendre plus lisible la carte.

Cet ensemble est mis en forme selon l'espace disponible et selon le format voulu. La mise en forme consiste à organiser sur la feuille les informations contenues sur la carte.

❖ Etape 3 : Etude diachronique

L'étude diachronique s'est déroulée en cinq étapes :

§.1 Etat de l'occupation du sol en 1978

L'état de surface en 1978 a été étudié à partir de la carte écologique de 1978 établie par le Projet pilote de la FAO et du PNUE sur la surveillance continue de la couverture forestière ;

§.2 Etat de l'occupation du sol en 1996

L'état de 1996 est établi à partir de l'interprétation des photographies aériennes au moyen du stéréoscope à miroir de la mission AAP de 1996 ;

§.3 Etat de l'occupation du sol en 2006

L'état de 2006 est établi à partir de la combinaison des images satellites Spot au 1/100000, de la carte écologique du Bénin réalisée par le LABEE en 2006 et la carte de végétation du Bénin par le CENATEL en 2006.

§.4 Cartographie de la dynamique de l'occupation du sol

La méthode de superposition a permis d'établir la dynamique de l'occupation du sol. En effet, les états d'occupation sont superposés deux à deux. Ainsi, 3 dynamiques ont été réalisées, la première concerne les états de 1978 à 1996, la seconde 1996 à 2006 et enfin la troisième 1978 à 2006. Ce dernier constitue le bilan global entre 1978 et 2006.

§.5 Analyse et interprétation des données

L'analyse et l'interprétation des données concernent la dynamique spatio-temporelle. Elle vise à déterminer les effets positifs et négatifs résultant des diverses exploitations des ressources naturelles. Les photographies aériennes, les images satellites et les cartes d'occupation du sol sont utilisées comme produit de la télédétection, et le GPS, les logiciels Atlas GIS, Arc View sont les outils du SIG.

2.2.2.4.2 Les étapes suivies pour l'élaboration des cartes géomorphologiques

Les documents qui ont servi à établir les cartes géomorphologiques sont :

- les photographies aériennes de la mission AAP de 1996 ;
- la carte géologique, feuille Lokossa-Porto-Novo, mars 1989 à l'échelle de 1/200000 ;
- l'Atlas cartographique de la région sud du Bénin établi par la SERHAU-SEM en 1992 ;
- la carte géomorphologique du sud-Bénin à 1/350000 LABEE établie en 2003 ;

L'interprétation des photographies aériennes a permis la délimitation des différentes unités morphologiques. Les minutes d'interprétation sont scannées, géoréférencées et numérisées. La combinaison des différents documents a favorisé l'établissement des différentes cartes.

2.2.2.5 Analyse phytosociologique

Les données floristiques ont été collectées à travers des placeaux de 900 m² suivant certains critères définis par le chercheur en s'appuyant sur la norme prescrite (Braun-Blanquet, 1932). Ces critères sont pour l'essentiel, la position topographique, les unités morphologiques et les unités anthropiques. Ces critères se déclinent ainsi qu'il suit :

1. Position Topographique

- Sommet de plateau
- Haut de versant
- Versant
- Bas de versant

2. Unités morphologiques

- Plateau
- Talus (escarpement, corniche, abrupt)
- Plaine d'inondation
- Terrasses (alluvial, fluviatile,...)
- Berge
- Plan d'eau
- Marécage
- Marais

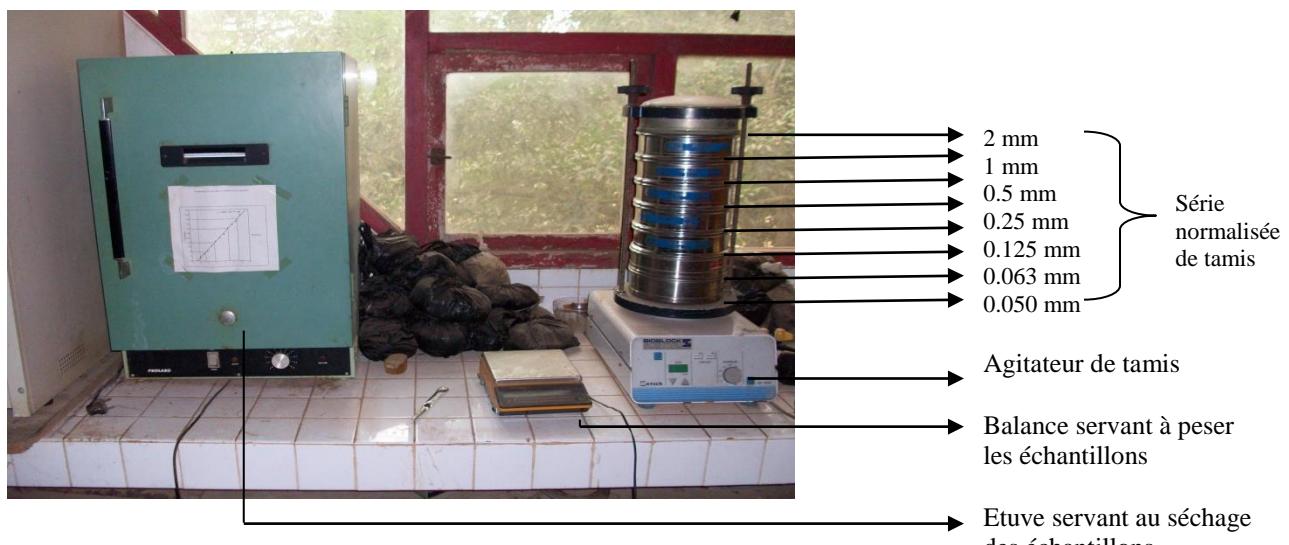
3. Unités anthropiques

- Champ
- Jachère
- Plantation
- Agglomération
- Route
- Piste
- Campement isolé
- Terrain de foot
- Espace aménagé
- Zone de pâturage
- Site d'exploitation

Pour chaque transect, les relevés sont présentés suivant leurs caractéristiques que sont : les coordonnées géographiques, la position topographique, l'unité morphologique, l'ampleur de l'action anthropique et la formation végétale en place.

2.2.2.6 Analyse granulométrique

Les échantillons de sable prélevés ont été analysés au laboratoire de sédimentologie de la FAST de l'université d'Abomey-Calavi. Les travaux ont consisté à caractériser les matériaux prélevés par séparation selon la taille de chaque particule. Cette analyse renseigne sur la constitution granulaire et la répartition en divers grains du matériau. Une série normalisée de tamis est utilisée à cet effet (Photo 2).



Source : Cliché Adissin, 2008

Photo 2 : Dispositif de séparation granulométrique des grains de sable

De gauche vers la droite on a l'étuve, la balance, et le système de tamis. Les caractéristiques du sable ont été déterminées à travers l'analyse de trois paramètres que sont :

- Analyse granulométrique qui renseigne sur la constitution granulaire ou la répartition en divers grains du matériau. Une série normalisée de tamis est utilisée à cet effet ;
- Poids spécifique des grains solides qui rend compte de la proportion réelle de grains solides contenus dans le matériau ;

- Densité apparente ; analyse permettant d'apprécier le poids d'une certaine quantité volumétrique du matériau à l'état naturel.

2.2.2.7 Méthode d'analyse des impacts

Pour l'identification des composantes environnementales et l'analyse des impacts sur l'environnement, plusieurs méthodes peuvent être utilisées seule ou en combinaison. Trois sont choisies dans le cadre de ce travail. Il s'agit :

2.2.2.7.1 Les listes de contrôle

Ce sont des listes d'ordre général des composantes de l'environnement, des caractéristiques d'un système d'exploitation, ou d'impacts potentiels, voire de mesures d'atténuation. Chaque liste convient à une phase particulière du processus ou peut s'adapter à des types spécifiques d'exploitation.

Elle est donc souple et aide à déterminer, au moment du tri préliminaire, les activités à inclure ou à exclure du processus ; à cerner les incidences potentielles des activités ; à évaluer l'importance et la signification des impacts ; à vérifier, au moment de l'évaluation des impacts, si on a tenu compte des incidences potentielles établies.

2.2.2.7.2 Les matrices d'impacts

Elles intègrent les composantes de l'environnement et les activités d'un système d'exploitation en un tableau d'interactions de façon à déterminer des liens de cause à effet. Contrairement aux listes de contrôle, les matrices sont soit sectorielles, soit adaptées à un système d'exploitation donné. L'objectif de cette méthode est de recenser les impacts d'une activité et de procéder à une estimation de ces impacts.

L'élaboration de la première matrice revient à Léopold (Léopold, & *al*, 1971 *in* Domon *et al*, 1987). C'est un système qui se fonde sur l'utilisation des matrices à double entrées. L'entrée 1, porte les activités causant l'impact environnemental et l'entrées 2, les composantes du milieu qui peuvent être affectées.

Pour distinguer les impacts positifs des négatifs, on utilise le signe + (plus) et – (moins).

2.2.2.7.3 Méthodes de superpositions

Cette méthode consiste en la superposition des couches d'informations géoréférencées de diverses natures (facteurs biologiques, géologiques, fonciers etc.) dans le but de qualifier un espace en fonction des aptitudes ou des résistances environnementales. McHarg (1965) est le promoteur de cette méthode.

Pour une composante de l'environnement donnée, on cartographie d'abord la variable puis on détermine une classification basée sur l'aptitude ou la résistance environnementale au système. Ensuite, on reproduit cartographiquement les catégories établies et on superpose l'ensemble des cartes des composantes physiques et humaines pour reconnaître la moindre résistance.

L'objectif de cette méthode est d'évaluer les possibilités d'aménagement et leurs conséquences sur l'environnement. La synthèse est présentée sous forme cartographique. Cette méthode est souvent utilisée dans la cartographie de la dynamique de l'état de surface.

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Les systèmes d'information géographique (SIG) ont été utilisés dans la gestion et le traitement des données. Les grands axes des traitements effectués sont les suivants :

2.3.1 Systèmes d'Information Géographique (SIG)

L'information géographique est devenue une donnée d'importance primordiale pour la gestion des espaces. Ce concept désigne toute information relative aux points spatialement référencés à la surface de la terre.

Avec l'essor de l'informatique, est apparue la possibilité de numériser l'information géographique : c'est ainsi que sont nés les Systèmes d'Information

Géographique (SIG) que l'on peut définir comme des systèmes de traitement d'informations géoréférencées (Moussa, 1991).

Les SIG ont bénéficié des progrès réalisés par la conception assistée par ordinateur (CAO) dont dérivent le dessin assisté par ordinateur (DAO) et la cartographie assistée par ordinateur. Ces outils permettent aux SIG de manipuler des données spatiales et leurs données descriptives associées.

Les potentialités de traitement de l'information permises par le SIG, dans une optique d'analyse et de gestion des espaces, sont particulièrement développées.

2.3.2 Traitement des données physiques du bassin

Les caractéristiques physiques concernent, la variabilité pluviométrique, le taux de comblement, l'individualisation des groupements végétaux, le bilan des cartes d'état de surface, l'identification des impacts potentiels.

2.3.2.1 Etude de la variabilité pluviométrique

Dans cette partie les paramètres et méthodes statistiques suivants ont été utilisés:

- *Le paramètre de tendance centrale : la moyenne arithmétique*

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométrique et hydrologique aux différentes stations et dans les sous-bassins hydrologiques. Elle représente le paramètre fondamental de tendance centrale. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

avec n le nombre de variables, x_i = hauteur de pluie

La moyenne \bar{X} a permis de caractériser l'état hydroclimatique moyen et de calculer les indices de dispersion les plus significatifs.

- *Les paramètres de dispersion*

§. Ecart type

Le calcul de l'**écart type** permet d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance :

$$\sigma(x) = \sqrt{V} \quad \text{où } V \text{ est la variance}$$

L'écart type est un excellent indicateur de la variabilité.

§. Anomalies centrées réduites

A partir de l'écart type, ont été calculées les anomalies centrées réduites pluviométriques et hydrométriques mensuelles et interannuelles, en standardisant les données. Les anomalies sur chaque station et sur le bassin se calculent par la formule suivante :

$$x'_i = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma(x)}$$

où : x'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i

x_i = la valeur de la variable

\bar{X} = la moyenne de la série

$\sigma(x)$ = l'écart type de la série

Toutefois, les paramètres de dispersion ne suffisent pas à eux seuls pour mesurer la variabilité car ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques et hydrométriques. Il convient donc de les compléter par d'autres.

§. Bilan climatique : un indicateur des disponibilités en eau

«Dans le contexte où les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration, on parle de climat sec et les réserves d'eau disponibles sont quasiment nulles» (Hufty, cité par Vissin, 2007).

Le bilan climatique traduit ainsi, en particulier, le rythme des excédents ou des déficits en eau. Il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et constitue, lorsqu'il est positif, le surplus disponible pour la recharge en eau du sol et pour l'écoulement (Sutcliffe et Piper, cité par Vissin, 2007). Il s'exprime par la formule suivante : $Bc = P - ETP$, avec :

- Bc , bilan climatique en mm ;
- P , pluie totale annuelle en mm ;
- ETP , évapotranspiration réelle en mm.

L'ETP est définie comme la demande climatique en vapeur d'eau.

- Si $P - ETP > 0$, alors le bilan est excédentaire ;
- Si $P - ETP < 0$, alors le bilan est déficitaire ;
- Si $P - ETP = 0$, alors le bilan est équilibré.

Le bilan climatique a souvent été utilisé, notamment dans des études régionales des ressources hydroélectriques en l'Afrique de l'Ouest (Thomson, 1985 ; Olivry, 1993 ; Le Barbé *et al.*, 1993) ou encore dans une étude du bilan hydrologique en Guinée et au Togo-Bénin (Sucliffe et Piper, 1985), c'est-à-dire dans les régions où les pluies sont abondantes et concentrées sur une seule saison de l'année, l'autre étant sèche. Une étude approfondie de la variabilité pluviométrique et hydrologique nous permettra de mettre en évidence la caractérisation hydro-pluviométrique du bassin de la rivière Sô.

2.3.2.2 Individualisation des groupements végétaux

La technique de traitement des données utilisée est celle de la « Correspondance Analysis » (CA) qui est une forme améliorée de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), méthode qui permet une ordination dans un espace réduit du nuage constitué par (r) relevés (objets) et de celui des (n) espèces (variables). Elle permet ainsi une compréhension plus facile des différentes structures (groupes de relevés, groupes d'espèces, etc.). Les différents relevés sont encodés à l'aide du logiciel Excel.

L'ordination est réalisée par le logiciel Two Way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) mise au point par Mark Hill de « Institute of Terrestrial Ecology » en 1979 et révisé en 1994.

Le dendrogramme est obtenu à l'aide du logiciel CAP par la méthode Ward sur la base des distances euclidiennes.

Les plans factoriels sont réalisés avec le logiciel CANOCO sous Windows, sur la base d'une CA et/ou avec le logiciel SPSS sur la base de l'ACP.

Dans un premier temps, une analyse globale sur la base de présence – absence des espèces a été réalisée sur l'ensemble des relevés, toutes strates confondues, et a

permis d'isoler les groupements de base. Ensuite, des analyses partielles ont été réalisées pour mieux individualiser les groupements végétaux.

2.3.2.3 Bilan des cartes d'état de surface

Pour mieux comprendre l'évolution des unités d'occupation du sol, des opérations spécifiques sont nécessaires et concernent l'évaluation des superficies des unités d'occupation. Considérons les paramètres ci-après :

- soit E_{1978} , la superficie d'une unité d'état de surface en 1978 ;
- E_{1996} , la superficie de la même unité d'état de surface en 1996 ;
- E_{2006} , la superficie de la même unité d'état de surface en 2006 ;
- ΔE_1 la variation de la superficie de ladite unité entre 1978 et 1996,

$$\Delta E_1 = E_{1978} - E_{1996}$$

- soit ΔE_2 la variation de la superficie de la même unité entre 1996 et 2006,

$$\Delta E_2 = E_{1996} - E_{2006}$$

Le bilan de l'évolution de cette unité d'état de surface peut se traduire par l'une des situations suivantes :

- si $\Delta E_1 = \Delta E_2 = E_{1978} = E_{1996} = E_{2006}$, alors il y a stabilité ;
- si $\Delta E_1 > E_{1978}$ et $\Delta E_2 > E_{1996}$, alors il y a progression ;
- si $\Delta E_1 < E_{1978}$ et $\Delta E_2 < E_{1996}$, alors il y a régression.

C'est une méthode de superposition qui permet d'évaluer les impacts des systèmes d'exploitation sur les ressources naturelles en particulier sur les formations végétales. Ainsi, la dynamique spatiale et temporelle se traduit en termes de régression, de stabilité ou de progression.

§.La régression

Elle concerne les portions qui ont connu une dégradation ou une réduction du taux de ligneux. Trois ordres de régression sont distingués dans le secteur d'étude :

- La régression d'ordre 1 (R1) concerne les portions ayant subi une dégradation peu avancée (une formation boisée en 1978 devenue arborée en 1996).
- La régression d'ordre (R2) concerne les portions ayant subi une dégradation avancée (une forêt galerie en 1978 devenue une formation arborée en 1996).

- La régression d'ordre 3 (R3) concerne les portions ayant subi une dégradation très avancée (une forêt galerie en 1978 devenue une parcelle cultivée ou une jachère en 1996).

§. La stabilité

Elle concerne les portions qui apparemment n'ont pas connu de changements ou du moins ont gardé la même physionomie en 1978 et en 1996.

§. La progression

Elle concerne les portions qui ont connu une évolution pour devenir plus denses ou plus fournies en 1996 par rapport à leur état de 1978.

2.3.3 Traitement des échantillons de sable

Les matériaux prélevés ont été mis à l'étuve pendant 24 h à une température de 80°C. Ensuite, on a procédé à leur lavage en utilisant deux tamis de diamètre 0,5 mm et 2 mm. Les tamis sont superposés de telle manière que celui de 2 mm est en haut et l'autre (0,5mm) en bas. Ce lavage permet de débarrasser l'échantillon à analyser des particules d'argile. Après cette opération, on sèche de nouveau dans l'étuve pendant 24h à 80°C, on procède au tamisage (150g pour chaque échantillon) des matériaux dont les particules sont de diamètres supérieurs à 0,05 mm (particules non argileuses).

Les tamis de différents diamètres : 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 ; 0,063 ; 0,05 mm ont été utilisés. Pour chaque tamis, les sédiments passants et les sédiments refusés sont quantifiés.

2.3.4 Traitement des données socio-économiques

Les traits socio-économiques sont étudiés à travers deux paramètres : la densité de population et le taux d'accroissement. Les activités économiques sont aussi prises en compte dans cette partie.

2.3.4.1 Densité de population

Elle est déterminée à partir des statistiques des trois Recensements Généraux de la Population et de l'Habitation (RGPH1, 2 et 3) de 1979, 1992 et 2002. Cette densité concerne les treize (13) communes traversées par le bassin. Les superficies utilisées ici sont celles définies dans l'Atlas monographique du Bénin établie en 1992 par le Ministère de l'intérieur. Elle permet de comprendre la charge que supporte le bassin et quelle pourrait être la pression sur les ressources. Ce seul paramètre ne suffit pas pour expliquer cette pression ; d'autres paramètres sont aussi à prendre en compte comme le taux d'accroissement.

2.3.4.2 Taux d'accroissement

Ici le taux d'accroissement est calculé pour deux périodes :

- 1979-1992 et
- 1992-2002.

Les valeurs calculées s'étaisent entre x et y, il est donc nécessaire de constituer des groupes ou classes aux fins de l'analyse. Trois classes sont constituées : une classe médiane ($2 < TC < 4$) centrée autour de la moyenne et deux classes situées de part et d'autre de cette classe.

Ainsi, on a la répartition suivante :

- a) $TC < 2$: niveau faible pour les taux d'accroissement bas noté (b) ;
- b) $2 < TC < 4$ niveau moyen pour désigner les taux d'accroissement moyen (m) ;
- c) $TC > 4$ niveau élevé pour désigner les taux d'accroissement élevé (e).

Chacune de ces classes de valeurs représente une modalité du taux d'accroissement d'une période intercensitaire. En croisant ces trois modalités des deux périodes, on obtient un tableau de contingence (éventualités) qui indique les évolutions possibles du taux d'accroissement au cours des deux périodes (tableau 10).

Tableau VI : Variantes des types d'évolution du taux d'accroissement

2ème PERIODE

		b	m	e
1^{ère} P E R I O D E	b	bb	bm	be
	m	mb	mm	me
	e	eb	em	ee

On dénombre ainsi 9 combinaisons ou types possibles d'évolution démographique. Ces 9 types peuvent être regroupés en trois grands groupes :

- le premier groupe est celui de la diagonale correspondant aux combinaisons d'une même classe du taux d'accroissement (bb, mm, ee) ; cela traduit une situation de stabilité dans le rythme de croissance ;
- au-dessus de la diagonale, se situe le groupe dont le taux d'accroissement est en hausse (bm, be, me) ;
- en dessous de la diagonale, le groupe dont le taux d'accroissement est en baisse (mb, eb, em).

Les deux derniers groupes sont symétriques par rapport à la diagonale.

Au total, en prenant en compte ces trois classes, le comportement du taux d'accroissement au cours des deux périodes intercensitaires (1979-1992 et 1992-2002) permet de caractériser le type ou le modèle d'évolution de chaque subdivision administrative.

Le groupe considéré comme stable comporte trois variantes :

- les localités dont le taux d'accroissement reste faible pendant les deux périodes intercensitaires désignées ici par bb ;
- les localités dont le taux de croissance est resté moyen pendant les deux périodes désignées par mm ;

- les localités désignées par ee sont celles dont les taux sont restés élevés pendant les deux périodes.

Le groupe de localités ayant connu une augmentation sensible se répartissent aussi en trois : bm, be, me.

- La variante bm correspond aux localités dont le taux de croissance était faible entre 1979-1992 et est devenu moyen entre 1992-2002.
- La variante be désigne les localités qui ont vu leur taux de croissance passé de faible à élevé pendant les mêmes périodes.
- La variante me désigne le groupe ayant un taux moyen entre 1979-1992 et un taux élevé entre 1992-2002.

Le dernier groupe considéré comme les localités ayant connu une diminution de leur effectif durant les périodes intercensitaires est aussi réparti en trois sous-groupes : mb, eb, em.

- la variante mb regroupe les localités dont le taux d'accroissement était moyen entre 1979-1992 et est devenu faible pendant la seconde période (1992-2002).
- La variante eb correspond au groupe ayant un taux élevé pendant la première période et un taux faible entre 1992-2002.
- La variante em regroupe les localités qui ont vu leur taux d'accroissement passer d'élévé à moyen.

§ Technique de cartographie des tendances

Pour mieux traduire les tendances avec les différentes variantes cinq trames sont choisies :

- trame S correspondant aux localités ayant un modèle d'évolution stable ;
- trame A1 correspondant aux localités ayant un modèle d'évolution en augmentation d'ordre 1 (type 1) ;
- trame A2 pour les localités ayant un modèle d'évolution en augmentation d'ordre 2 (type 2) ;
- trame D1 pour les localités ayant un modèle d'évolution en diminution d'ordre 1 ;

- trame D2 pour les localités ayant un modèle d'évolution en diminution d'ordre 2.
A partir de chaque type de tendance (Tendance faible (TF), Tendance Moyenne (TM), Tendance Elevée (TE)), les combinaisons suivantes sont possibles.

1. Pour la tendance faible on peut avoir les variantes suivantes :

- TS (tendance faible avec trame de stabilité) ;
- TD1 (tendance faible avec trame de diminution d'ordre 1) ;
- TD2 (tendance faible avec trame de diminution d'ordre 2).

2. Pour la tendance moyenne on a les variantes suivantes :

- TS (tendance moyenne avec trame de stabilité) ;
- TD1 (tendance moyenne avec trame de diminution d'ordre 1) ;
- TA1 (tendance moyenne avec trame d'augmentation d'ordre 1).

3. Pour la tendance élevée les variantes suivantes sont possibles :

- TS (tendance élevée avec trame de stabilité) ;
- TA1 (tendance élevée avec trame d'augmentation d'ordre 1) ;
- TA2 (tendance élevée avec trame d'augmentation d'ordre 2).

En définitive, la combinaison des différents paramètres (taux d'accroissement, statut d'évolution, ...) donne 09 sous-groupes ou variantes pour traduire l'évolution démographique récente dans les communes concernées. La figure 23 présente les variantes des tendances démographiques possibles.

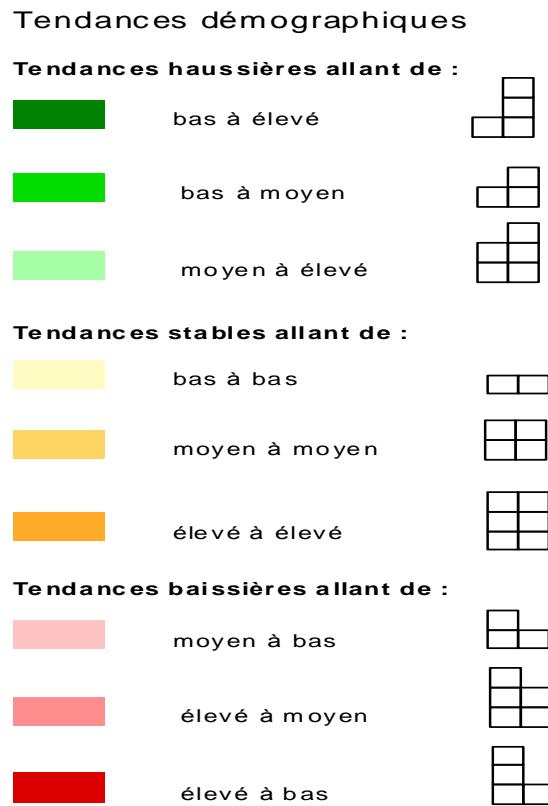


Figure 23: Variantes des tendances démographiques

2.3.4.3 Taux de couverture du système cultural

Les données obtenues à partir des questionnaires et autres fiches ont été dépouillées manuellement et statistiquement. Les résultats compilés et synthétisés ont été représentés sous forme de tableau et de graphiques.

Pour mieux comprendre le système de culture pratiqué dans le bassin d'étude, le coefficient de Rutemberg noté R a été calculé (Tenté, 2005).

$R = \frac{Nx100}{Cy}$ avec N , nombre d'années de culture, Cy , cycle d'utilisation de la terre = (*durée de jachère+durée d'utilisation de la terre*). Ce coefficient indique la proportion de terre cultivée par rapport à la surface totale de terre utilisée dans le temps.

- si $R > 66$, on a un système de culture permanente ;
- si $R < 33$, on parlera d'un système de culture itinérante ;
- si $33 < R < 66$, on parlera de système de jachère.

2.3.4.4 Technique d'identification, d'évaluation et d'analyse des impacts

Dans cette partie, 3 étapes sont à distinguer à savoir :

- l'identification des composantes environnementales pouvant être affectées ;
- l'évaluation des impacts ;
- l'analyse des impacts les plus importants.

Cette démarche est appliquée à chacune des activités des systèmes d'exploitation.

Des propositions de mesures d'atténuation des impacts négatifs et de maximisation des impacts positifs complètent la démarche.

§1 Identification des composantes environnementales affectées

Il s'agit d'un croisement des activités et des composantes environnementales du milieu à travers un modèle de matrice de type Léopold (op.cit). On distingue :

- les impacts pendant les travaux de préparation ;
- les impacts pendant la mise en œuvre de l'activité ;
- les impacts en phase terminale.

§2 Evaluation de l'importance des impacts

L'évaluation de l'importance des impacts repose sur une méthodologie qui intègre les trois (3) paramètres de l'impact négatif à savoir : la durée (momentanée, temporaire ou permanente), l'étendue (ponctuelle, locale ou régionale) et le degré de perturbation (très fort, fort, moyen ou faible). Le croisement de ces trois paramètres à travers le cadre de référence de l'ABE a permis de déduire si l'importance de l'impact est forte, moyenne ou faible.

Tableau VII : Cadre de référence pour l'évaluation de l'importance des impacts

Durée	Etendue	Degré de perturbation			
		Faible	Moyenne	Forte	Très forte
		Importance de l'impact			
Momentanée	Ponctuelle	Faible	Faible	Faible	Moyenne
Momentanée	Locale	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Temporaire	Ponctuelle	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Temporaire	Locale	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Momentanée	Régionale	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte
Permanente	Ponctuelle	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte
Temporaire	Régionale	Faible	Moyenne	Forte	Forte
Permanente	Locale	Faible	Moyenne	Forte	Forte
Permanente	Régionale	Moyenne	Forte	Forte	Forte

Source : ABE, 1998

§3 Analyse des impacts

Elle est menée de façon globale et spécifique par phase et par activités.

Les impacts ou effets positifs sont regroupés pour constituer une partie des mesures compensatoires ou des mesures de maximisation.

Après l'analyse des impacts, les impacts significatifs et les mesures proposées ont été synthétisés sous forme de tableaux simplifiés.

Des mesures sont proposées pour chaque impact significatif en distinguant les mesures de maximisation de celles destinées à limiter ou à atténuer les impacts négatifs.

L'accent est mis sur :

- les mesures de prévention ou d'atténuation, avec leur fondement réglementaire et les conditions techniques de leur mise en œuvre ;
- les mesures de réparation destinées à restaurer au mieux les milieux touchés ;

Tableau VIII : Exemple de matrice de synthèse de l'analyse des impacts

Phases	Activités	Impacts		Mesures	
		Positifs	Négatifs	Maximisation	Atténuation
Préparation					
Mise en œuvre					
Exploitation					
Entretien					

CONCLUSION PARTIELLE

Les approches et techniques méthodologiques utilisées ont consisté à caractériser le bassin du point de vue biophysique et de comprendre les systèmes d'exploitation qui ont cours actuellement ainsi que les effets induits. Plusieurs indices sont utilisés pour déterminer les caractéristiques climatiques, hydrologiques et géomorphologiques du bassin. Le dispositif expérimental a permis d'évaluer la quantité de sable qui se dépose dans la plaine d'inondation après chaque saison. L'approche diachronique qui utilise non seulement les photographies aériennes ou images satellites mais aussi les anciennes cartes d'état de surface a permis d'apprécier les changements d'état de surface de 1978 à 2006. Les contextes socio-économiques sont connus à partir de l'étude des statistiques relatives à la densité, au taux d'accroissement et au taux de couverture du système culturel. L'ampleur des impacts inhérents aux systèmes d'exploitation sont définis par la matrice de Léopold.

Les résultats obtenus aussi bien sur les caractéristiques physiques, biologiques, sédimentologiques et de la dynamique d'état de surface sont développés dans la deuxième partie.