

UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DES SCIENCES
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
Unité « *Assainissement et Environnement* »

**GESTION TECHNIQUE DE L'ENVIRONNEMENT
D'UNE VILLE (BEMBEREKE au BENIN) :**
**caractérisation et quantification des déchets solides émis ;
connaissance des ressources en eau et approche technique**

DISSERTATION PRESENTEE PAR

Emilienne Laure NGAHANE

*Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
Maîtrise en Sciences Géotechniques et Hydrotechniques*

EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES

SOUTENUE A ARLON LE 21 JANVIER 2015 DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

Pr. Philippe ANDRE, Université de Liège (Belgique) – Président
Pr. Aurore DEGRE, Université de Liège (Belgique)- Secrétaire
Pr. Jean-Luc VASEL, Université de Liège (Belgique)- Promoteur
Pr. Bernard TYCHON, Université de Liège (Belgique)
Dr. Emmanuel NGNIKAM, Ecole Nationale Polytechnique de Yaoundé (Cameroun)
Dr. Chéma KEFFALA, Institut Agronomique de Chott Mériem (Tunisie)

Année académique 2014-2015

DEDICACE

A ma mère,

Mme. NJANKOU Rose épouse. MEVENGUE

Comme l'expression de ma profonde reconnaissance pour tous les efforts consentis et pour toutes les bénédictions qui concourent à la réalisation progressive de mon rêve d'enfant...

REMERCIEMENTS

Au terme de ces travaux de recherche, tout le plaisir est le mien d'adresser mes remerciements d'abord à **DIEU, en qui, par qui et pour qui toute chose est possible** ; puis, à toute personne physique ou morale m'ayant permis, de près ou de loin, directement ou indirectement, de le mener à bien. Notamment :

Au **Prof. Jean-Luc VASEL**, promoteur de cette thèse, pour avoir bienveillamment accepté de m'encadrer et pour l'attention particulière dont il a fait montre à mon égard ; pour avoir défini et orienté ces travaux, pour les connaissances et le savoir-faire transmis avec une authenticité et une délicatesse remarquables, pour les précieux conseils et les remarques constructives ayant concouru à l'aboutissement de cette thèse dans de bonnes conditions.

Aux membres de mon comité de thèse, également membres de mon jury de thèse : **Pr. Aurore DEGREGRE, Dr. Chéma KEFFALA, Dr. Emmanuel NGNIKAM**, pour avoir encadré et suivi ces travaux, pour l'intérêt porté aux problématiques traitées, pour avoir accepté d'évaluer ces travaux ; **Pr. Bernard TYCHON**, qui en plus de cela, a accepté spontanément de diriger officiellement ces travaux de juin 2014 jusqu'à leur aboutissement.

Au **Prof. Philippe ANDRE**, pour avoir accepté d'évaluer ces travaux et de présider mon jury de thèse.

Au **Prof. Jacques NICOLAS**, pour son soutien et son expérience qui m'ont été d'une aide précieuse dans la compréhension et la manipulation du logiciel *Statistica* pour le traitement, l'interprétation et l'exploitation de l'ensemble des données obtenues sur les déchets solides.

Au **Dr. Farid TRAORE**, pour sa disponibilité et son ingéniosité quant à l'extraction d'informations et le traitement de données, à l'aide d'outils cartographiques spécifiques et d'imageries satellitaires, m'ayant permis de mieux aborder quelques aspects du volet « Eaux » de ces travaux.

A **Mr. Valère RION**, pour la constance sollicitude et le dévouement qu'il m'a témoignés en se procurant, auprès des autorités compétentes béninoises, des données climatologiques de la station d'Ina, incontournables pour entamer et mener à bien l'ensemble des travaux du volet « Eaux » de cette thèse.

Aux organismes et programmes qui ont financé ces travaux : le **CNA**, la **CUD** via le **PACODEL**, la **Fondation Alice Segher's**, l'**Administration Communale d'Arlon**, la **Poste d'Arlon** ; plus précisément aux personnes de contact et aux facilitateurs qui ont motivé ma candidature et permis que j'obtienne ces financements : Mmes. **Chantal BARTHOLOME, Christine DASNOY, Françoise GUILLAUME, Hélène CRAHAY**, et Mrs. **Jean-Luc VASEL, Valère RION, Philippe DEFRANCE** et **Mohamed BELOUTI**.

Aux personnes qui m'ont aidée sur le terrain : **Mr. Adam GARBA**, pour m'avoir accueillie à bras ouverts et d'avoir été un père pour moi durant tous mes séjours à Bembéréké ; **Mr. Aliou SABIFICO**, pour m'avoir remarquablement encadrée, facilité certaines procédures et pour avoir si bien agrémenté tous mes séjours au Bénin ; **Mrs. Karim BACHABI et Raouf BACHABI**, Mmes. **Madina BACHABI** et **Amina SOULE**, pour leur disponibilité et leur efficacité lors de toutes les enquêtes, campagnes de caractérisation des déchets solides et

campagnes de mesures sur les sites des retenues d'eau de Guessou-Sud et de Pédarou ; **Mrs. SALE BOUCO** dit « *Et Pourtant* » et **Kassim ZATO**, pour leur convivialité et l'ambiance fraternelle et amicale qui m'ont tant égayée.

Aux membres de ma famille : mes parents **Conrad MEVENGUE** et **Rose NJANKOU** ; mes sœurs **Michèle Corine YANKAM** et **Denise Pancrace MBIAMI** ; mes frères **Aimé Laurent SOP**, **Saïdou Habdallah IBN HASSAN**, **Robert Joël MBASSI** et **Cyrille Fabrice WANDA** ; mes nièces et neveux...pour leur soutien indéfectible, leurs bénédictions authentiques et leurs conseils permanents qui m'ont accompagnée et fortifiée tout au long de cette belle aventure si loin d'eux.

Aux membres des familles **TONCHOUA Bryady** et **NZEPA** ; spécialement à **Mr. Verlain Bryady TANKEU TONCHOUA** pour l'être merveilleux qu'il est et pour l'élément décisif qu'il a été dans le façonnement et ma participation à cette aventure privilégiée, **Mme. NZEPA** dit « *maman Michoum* » pour ses encouragements et ses prières qui m'ont constamment soutenue.

A **Mme. Chantal BARTHOLOME**, pour la chaleur maternelle, la confiance inébranlable, l'aide si précieuse et l'extrême gentillesse empruntées d'amour et d'attention véritables qu'elle me témoigne ; lesquelles m'ont permis de ne jamais perdre courage et espoir dans les moments difficiles, d'affirmer mon identité et d'asseoir les valeurs et les principes que je considère comme essentiels et qui constituent mes guidelines.

À mes amis et connaissances, précisément : **Nicole TSAKEM**, **Joëlle MBANGA**, **Clarisse ZOBOU**, **Nadège FEUYOM**, **Conrad NJONGA**, **Julien DEROY**, **Prosper TADONJEU** et **Charly YONKEU**, pour leur sollicitude, leur sympathie et leur profonde bonté qui ont participé d'une manière ou d'une autre à la réalisation de cette thèse.

Aux doctorants : **Alex LINA**, **Léonard MINDELE**, **Patrice BIGUMANDONDERA**, **Dine NOUROU LIADY**, **Gaston NSAVYIMANA**, **Thierry TANGO**, **Marius BESSEKON**, **Aurélien OLISSAN**, **José MARGEZ** et **Antoine DENIS** ; aux Drs. **Farid TRAORE**, **Trésor BAYA**, **Guy KOUAM** et **Fouad ZOUHIR** ; à Mme. **Corine ANTOINE** et aux Mrs. **Hugues JUPSIN**, **Jean-Philippe NALINNES** et **David WAGNER**, pour la bonne ambiance, la franche collaboration, les contributions permanentes apportées au bon déroulement de ces travaux et pour ces années académiques d'édification, de partage et de complémentarité.

Puissez-vous être abondamment bénis de Dieu !

AVANT-PROPOS

Le présent travail a été greffé sur les projets de « *mise en place d'une filière de gestion des déchets solides* » et de « *Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome sur les sites de Guessou-Sud et de Pédarou* » à Bembéréké. Ces deux projets sont issus du partenariat signé à Bembéréké le 17 octobre 2008 entre les communes d'Arlon (Belgique) et de Bembéréké (Bénin). Ils devraient constituer avec d'autres projets (construction du marché au bétail autogéré à Gamia, valorisation de la filière avicole,...), la vitrine de solidarité internationale de la ville d'Arlon, visant une augmentation des ressources endogènes (fiscales) et exogènes (apports extérieurs) de Bembéréké. Le partenariat Arlon-Bembéréké, comme ceux de Huy-Natitingou, Evere-Lokossa, Virton-Tchaourou, Tintigny-Djidja, La Roche-Bohicon et de Bouillon-Savalou, s'inscrit dans le cadre du Programme de Coopération Internationale Communale (CIC) développé par la Coopération belge, qui en a confié la gestion, pour sa partie bruxelloise et wallonne, au consortium composé des Unions des Villes et Communes wallonnes et bruxelloises (UCVW et UCVCB).

Les projets bénéficient de l'appui financier de la Direction Générale à la Coopération au Développement (DGCD) et de la commune d'Arlon ; de l'appui des commissions compétentes de la commune de Bembéréké que sont la Commission des Affaires Domaniales et Environnementales, la Commission des Affaires Sociales et Culturelles, la Commission Jeunesse Sport et Loisirs ; de l'appui médiatique de la radio libre NON SINA ; de l'appui des structures locales telles que les structures de salubrité, les associations des femmes maraîchères, les associations des éleveurs, les associations des pisciculteurs, etc. ; et de l'appui scientifique de l'Université de Liège.

Afin d'assurer avec brio la mise en place et le suivi des projets, la commune d'Arlon, également commune universitaire, a sollicité l'aide scientifique du campus d'Arlon ; et plus précisément, pour les aspects environnementaux. Implantée depuis 1972, la Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL) aujourd'hui Campus d'Arlon de l'Université de Liège, favorable à sollicitation, a voulu réaffirmer son étiquette et redorer sa renommée de leader provincial dans la formation et la recherche dans le vaste domaine de l'environnement. C'est ainsi qu'en ma personne, le laboratoire « *Assainissement et Environnement* », sous la supervision du Professeur Jean-Luc VASEL, s'est proposé de : (i) caractériser et quantifier les déchets solides émis, (ii) connaître les ressources en eau disponibles à Bembéréké ; afin, d'augmenter les chances de réussite des projets.

Les travaux menés par nos soins, parfois dans des conditions difficiles, ont débuté en mars 2010, déjà dans le cadre de mon travail de fin d'études pour l'obtention du grade de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement. Ces travaux ayant contribué à dresser un état des lieux sur la gestion des déchets solides à Bembéréké, ont été intensifiés ; avec en plus des aspects relatifs à la gestion de l'eau pour déployer le maximum de connaissances acquises durant ma formation et en acquérir de nouvelles. Le présent travail, en plus de contribuer aux avancées de la science, notamment sur le plan méthodologique d'obtention de données de base sur les thématiques qu'envisagent traiter lesdits projets, se veut être un outil d'aide à la décision pour les autorités de Bembéréké désireuses d'offrir aux populations locales un cadre propice vers un développement durable.

RESUME

La sauvegarde de l'environnement, l'un des piliers du développement durable, ne s'intègre que timidement dans les plans de développement communaux en Afrique. A Bembéréké, comme dans la plupart des communes en Afrique subtropicale, on note parmi les problématiques environnementales majeures : un amenuisement des facteurs de production en milieu rural et une insalubrité alarmante en milieu urbain.

En effet, le centre urbain de Bembéréké s'est avéré insalubre au terme de deux études (DCAM, 2005 et Ngahane, 2010) ; le paludisme, les infections respiratoires, les anémies, etc. sont le quotidien des populations. Le projet « *Gestion des Déchets solides* » veut résorber cet épineux problème et pour ce faire, nous avons mis sur pied une méthode de caractérisation rapide, simple, peu coûteuse et flexible permettant de disposer, au préalable, de données de base fiables. Ainsi, à Bembéréké, en 2011, la production moyenne des ordures ménagères est de 0,94 +/- 0,10 kg/j.hab, soit 1,9 +/- 0,3 l/j.hab ; cette production est dominée par les gravats/fines et la matière organique biodégradable. Alors que, la production des ordures ménagères n'y est significativement liée ni aux saisons, ni aux quartiers et ni aux standings ; leur composition présente des variations très significatives entre et au sein même des saisons, des quartiers et des standings. Donc, gérer les déchets solides à Bembéréké, c'est gérer à 99 % les ordures ménagères ; soit 6 050 T (12 107 m³) pour 2011 : 55 % d'Inertes, 40 % de fermentescibles, 6 % de combustibles et 1% de déchets dangereux. Parce qu'elle est performante, l'alternative D₁ « **75% Prévention-25% Elimination** » a été retenue pour la gestion de ces déchets ; toutefois, sa mise en œuvre doit être progressive.

A Bembéréké l'agriculture et l'élevage sont le moteur économique. Jadis complémentaires, ces deux activités ont connu des ajustements/adaptations après la période de grande sécheresse (1970-1980) : l'agro-pastoralisme naît, les moyens et les systèmes de production convergent, une concurrence s'établit dès lors sur les ressources désormais communes que sont la terre et l'eau. Cette concurrence est accrue dans les bas-fonds offrant encore simultanément ces ressources en saison sèche. Les rares retenues d'eau, mais vitales, de plus en plus convoitées, doivent subvenir aux besoins que sont l'abreuvement bovin (40 l/j.tête) et le maraîchage (100 m³/j.ha), essentiellement. Par ailleurs, pour le développement socio-économique de Bembéréké comme du Bénin en général, les ressources en eau ne constituent pas un facteur limitant. Pour le site de Guessou-Sud dont le réservoir a une capacité actuelle d'environ 13 000 m³, l'ensemble des besoins considérés a été estimé à 40 000 m³/an ; tandis que, le site recevrait du bassin versant en moyenne 8 000 000 m³/an. En plus de l'urgence d'un triplement de la capacité de stockage de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud, l'état de dégradation avancée du site suggère une restauration, une préservation voire un rehaussement de son potentiel et de ses richesses floristiques et faunistiques afin, de sécuriser ses conditions hydriques. La pérennisation de cette ressource et la réplique de cette expérience sur d'autres sites donneraient une dynamique nouvelle dans ce contexte très local, mais traduisant une réalité régionale, qu'est la commune de Bembéréké.

Mots clés : insalubrité, caractérisation des déchets, gestion des déchets, bassin versant, retenue d'eau, bilan hydrique, Bembéréké, Bénin.

ABSTRACT

The safeguarding of environment can be considered as one of pillars for sustainable development. However, in many countries of subtropical Africa, it is timidly integrated in communal development plans. Bembéréké (Benin) is one of most municipalities of subtropical Africa which facing major environmental challenges like: (i) the lowering of production factors in rural area ; and (ii) the alarming unsanitary in urban area. Because of this unsanitary in Bembéréké municipality, malaria, respiratory infections, anaemia, etc. constitute the daily of populations (DCAM, Ngahane 2005 and 2010).

This study enabled to develop a simple, fast, inexpensive and flexible method for the solid waste characterization, which provides a reliable database, useful for evaluating thereafter, their treatability. In Bembéréké, the average production of household solid waste found in 2011 with this method equals to 0.94 ± 0.10 kg/capita.day or 1.9 ± 0.3 L/capita.day. This production is dominated by the gravels/fines and biodegradable organic matter. While the production of household solid waste in Bembéréké is neither related to the seasons nor to the neighbourhoods nor to the level of standing , their composition varied significantly between and within seasons, neighbourhoods and level of standing. Solid waste in Bembéréké are therefore distributed as follow: (i) household garbage represent 99% (i.e., 6 050 T or 12 107 m³ for the year 2011); (ii) inert waste 55%; (iii) fermentable waste 40% ; (iv) combustible waste 6%; and (v) hazardous waste 1%. In this study, an alternative designated by D1 "**75% Prevention -25% Elimination**" was chosen as the best for a good management of this waste. However, its implementation should be gradual.

Long considered as complementary activities, the agriculture and livestock in Bembéréké are economic engine. These activities have known since the period of severe drought (1970-1980), the adjustments/modifications. For this purpose, agro-pastoralism is born, and since then the means and production systems converge, competition is established on common resources such as land and water. This competition is very remarkable in shallows where these resources remain available in the dry season. During the dry season, the basins of water retention, especially for watering cattle (40 L / cattle.day) and market gardening (100 m³ /ha.day) are therefore increasingly coveted. Moreover, the socio-economic development of Benin in general and that of Bembéréké in particularly should not cause problems because the water resources are not a limiting factor. For Guessou-Sud site that receives from the watershed an average of 8 000 000 m³/year, all water needs were evaluated at 40 000 m³/year and a tank of capacity of about 13 000 m³ is currently used to meet these water needs. In addition to the urgency of tripling of the storage capacity of this tank, the advanced state of degradation of the site Guessou-Sud suggests either a restoration or a preservation or enhancement of its potential and its rich flora and fauna, in order to secure its water conditions. Sustainability of this resource in our study site and replication of this experience on other sites could give new momentum in this very local context where Bembéréké reflects a regional reality.

Keywords: *Unsanitary; Waste characterization; Waste management; Watershed; Basins of water retention; Water balance; Bembéréké; Benin.*

TABLE DES MATIERES

| | |
|-----------------------------|------|
| DEDICACE..... | i |
| REMERCIEMENTS..... | ii |
| AVANT-PROPOS..... | vi |
| RESUME..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| TABLE DES MATIERES..... | vii |
| LISTE DES ABREVIATIONS..... | xiii |

| | |
|---|----------|
| PARTIE I : VOLET « DECHETS » | 1 |
|---|----------|

| | |
|-------------------|---|
| INTRODUCTION..... | 2 |
|-------------------|---|

| | |
|---|----------|
| CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE | 3 |
|---|----------|

| | |
|---|----------|
| 1.1. LA PROBLEMATIQUE DES DECHETS SOLIDES DANS LES PED ET PARTICULARITE DE BEMBEREKE | 4 |
|---|----------|

| | |
|---|----------|
| 1.1.1. Etat des lieux sur la salubrité | 4 |
|---|----------|

| | |
|-----------------------------|---|
| a) <i>Définitions</i> | 4 |
|-----------------------------|---|

| | |
|---|---|
| b) <i>La salubrité dans les PED</i> | 4 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| c) <i>La salubrité à Bembéréké</i> | 5 |
|--|---|

| | |
|--|----------|
| 1.1.2. Contexte politique et cadre réglementaire de la gestion des déchets solides au Bénin | 6 |
|--|----------|

| | |
|---|---|
| a) <i>La Politique Nationale d'Assainissement</i> | 7 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| b) <i>La loi cadre sur l'environnement</i> | 7 |
|--|---|

| | |
|--|---|
| c) <i>Les lois sur la décentralisation</i> | 8 |
|--|---|

| | |
|--|----------|
| 1.1.3. Contexte de pauvreté des populations locales et nécessité d'intervention | 9 |
|--|----------|

| | |
|--|---|
| a) <i>Les aspects de la pauvreté en rapport avec la gestion des déchets au Bénin et à Bembéréké en particulier</i> | 9 |
|--|---|

| | |
|--|----|
| b) <i>Nécessité d'intervention</i> | 12 |
|--|----|

| | |
|--|-----------|
| 1.2. LES ENJEUX DE LA CARACTERISATION DES DECHETS | 13 |
|--|-----------|

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1.2.1. Enjeux politiques | 13 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 1.2.2. Enjeux socio-économiques | 14 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 1.2.3. Enjeux environnementaux et sanitaires | 15 |
|---|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 1.3. ETAT DE L'ART SUR LES METHODES DE CARACTERISATION | 17 |
|---|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 1.3.1. Les méthodes indirectes | 17 |
|---|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 1.3.2. Les méthodes directes | 17 |
|---|-----------|

| | |
|------------------------------------|----|
| a) <i>La méthode MODECOM</i> | 17 |
|------------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------------|----|
| b) <i>Le Protocole IBGE</i> | 18 |
|-----------------------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| c) <i>Le Protocole EPA</i> | 19 |
|----------------------------------|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| d) <i>Le Protocole ARGUS</i> | 19 |
|------------------------------------|----|

| | |
|--|-----------|
| 1.3.3. Quelques méthodes développées pour les PED | 20 |
|--|-----------|

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| CONCLUSION DU CHAPITRE 1 | 22 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 23 |
|--|-----------|

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION ET QUANTIFICATION DES DECHETS SOLIDES EMIS A BEMBEREKE26

| | |
|--|-----------|
| 2.1. CADRE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE..... | 27 |
| 2.1.1. Cadre de la caractérisation des déchets solides à Bembéréké | 27 |
| a) <i>Historique de la gestion des déchets solides à Bembéréké.....</i> | <i>27</i> |
| b) <i>Description du projet « mise en place de la filière de gestion des déchets solides à Bembéréké ».....</i> | <i>28</i> |
| c) <i>Description de la zone d'étude.....</i> | <i>29</i> |
| 2.1.2. Approche méthodologique | 30 |
| a) <i>Campagne de reconnaissance et d'information.....</i> | <i>30</i> |
| b) <i>Zonage et détermination des ménages à échantillonner.....</i> | <i>31</i> |
| c) <i>Choix des périodes d'échantillonnage.....</i> | <i>32</i> |
| d) <i>Méthodologie d'échantillonnage.....</i> | <i>33</i> |
| 2.2. METHODE DE CARACTERISATION MISE EN PLACE..... | 34 |
| 2.2.1. Description des étapes et opérations | 34 |
| a) <i>Etape préparatoire.....</i> | <i>34</i> |
| b) <i>Mise au point du système de pesée.....</i> | <i>35</i> |
| c) <i>Mise au point des opérations de tri et de séchage.....</i> | <i>35</i> |
| 2.2.2. Détermination des paramètres de la caractérisation..... | 35 |
| a) <i>Constitution de l'échantillon à caractériser.....</i> | <i>35</i> |
| b) <i>Détermination des différentes catégories de déchets.....</i> | <i>36</i> |
| c) <i>Caractéristiques recherchées.....</i> | <i>36</i> |
| 2.2.3. Caractérisation des déchets de marchés | 37 |
| 2.2.4. Ressources mobilisées | 38 |
| a) <i>Ressources humaines.....</i> | <i>38</i> |
| b) <i>Ressources matérielles.....</i> | <i>38</i> |
| c) <i>Ressources financières.....</i> | <i>38</i> |
| 2.3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS..... | 41 |
| 2.3.1. Résultats d'enquête et interprétation | 41 |
| a) <i>Conditions de vie des ménages et pratiques locales en rapport avec la gestion des déchets solides.....</i> | <i>41</i> |
| b) <i>Attentes et suggestions des populations cibles.....</i> | <i>42</i> |
| 2.3.2. Résultats d'échantillonnage et interprétation..... | 43 |
| a) <i>Répartition des ménages échantillonnés.....</i> | <i>43</i> |
| b) <i>Taux de récupération des poubelles.....</i> | <i>43</i> |
| c) <i>Principales difficultés rencontrées.....</i> | <i>44</i> |
| 2.3.3. Caractéristiques des déchets ménagers et interprétation..... | 44 |
| a) <i>Caractéristiques saisonnières des déchets ménagers.....</i> | <i>45</i> |
| b) <i>Caractéristiques annuelles des déchets ménagers.....</i> | <i>50</i> |
| c) <i>Analyse statistique sommaire des résultats.....</i> | <i>57</i> |
| 2.3.4. Caractéristiques des déchets de marchés et interprétation..... | 65 |
| a) <i>Production.....</i> | <i>65</i> |
| b) <i>Composition.....</i> | <i>65</i> |
| CONCLUSION DU CHAPITRE 2..... | 67 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)..... | 68 |

**CHAPITRE 3 : SCENARISATION DE LA GESTION DES DECHETS SOLIDES
POUR BEMBEREKE 69**

| | |
|--|------------|
| 3.1. BASES DE LA GESTION DES DECHETS SOLIDES..... | 70 |
| 3.1.1. Politiques de gestion..... | 70 |
| a) <i>Politiques générales.....</i> | <i>70</i> |
| b) <i>Politique de la commune de Bembéréké.....</i> | <i>78</i> |
| 3.1.2. Principales étapes de la gestion des déchets ménagers..... | 80 |
| a) <i>Pré collecte.....</i> | <i>80</i> |
| b) <i>Collecte et transport.....</i> | <i>81</i> |
| c) <i>Evolution de la gestion des déchets.....</i> | <i>82</i> |
| 3.2. TYPOLOGIE DES DECHETS SOLIDES A BEMBEREKE..... | 85 |
| 3.2.1. Principaux gisements de déchets solides à Bembéréké..... | 85 |
| a) <i>Les déchets ménagers au sens strict.....</i> | <i>85</i> |
| b) <i>Les déchets de marchés.....</i> | <i>85</i> |
| c) <i>Les déchets de nettoyage et d'entretien des places publiques et des grandes artères de la ville.....</i> | <i>86</i> |
| 3.2.2. Classification des déchets solides à Bembéréké..... | 86 |
| a) <i>Les déchets organiques (fermentescibles).....</i> | <i>86</i> |
| b) <i>Les combustibles.....</i> | <i>86</i> |
| c) <i>Les déchets inertes.....</i> | <i>86</i> |
| d) <i>Les déchets dangereux.....</i> | <i>87</i> |
| 3.3. ELABORATION DES SCENARIOS DE GESTION DES DECHETS SOLIDES A BEMBEREKE..... | 88 |
| 3.3.1. Inventaire des scénarios élémentaires possibles..... | 88 |
| a) <i>Scénario 1 : La Prévention.....</i> | <i>88</i> |
| b) <i>Scénario 2 : La Valorisation.....</i> | <i>90</i> |
| c) <i>Scénario 3 : L'Elimination.....</i> | <i>92</i> |
| d) <i>Synthèse des scénarios élémentaires.....</i> | <i>94</i> |
| 3.3.2. Alternative en rapport avec les objectifs de gestion..... | 95 |
| a) <i>Combinaisons de scénarios (alternatives) possibles.....</i> | <i>95</i> |
| b) <i>Analyse des différentes alternatives.....</i> | <i>96</i> |
| 3.3.3. Alternative retenue et effets notables de sa mise en œuvre | 104 |
| a) <i>Proposition de mise en œuvre.....</i> | <i>104</i> |
| b) <i>Justification de la proposition de mise en œuvre.....</i> | <i>104</i> |
| c) <i>Synthèse stratégique.....</i> | <i>107</i> |
| CONCLUSION DU CHAPITRE 3..... | 107 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)..... | 109 |
| CONCLUSION DE LA PARTIE I : VOLET « DECHETS »..... | 113 |

| | |
|--|------------|
| PARTIE II : VOLET « EAUX » | 117 |
| INTRODUCTION | 118 |
| CHAPITRE 4 : REVUE DE LA LITTERATURE | 119 |
| 4.1. LES RESSOURCES EN EAU DU BENIN | 120 |
| 4.1.1. Présentation du Bénin | 120 |
| a) <i>Climat</i> | 120 |
| b) <i>Relief, sols et végétation</i> | 122 |
| 4.1.2. Estimation des ressources en eau au Bénin | 125 |
| a) <i>Eaux superficielles</i> | 125 |
| b) <i>Eaux souterraines</i> | 126 |
| 4.1.3. Besoins et usages des ressources en eau au Bénin | 128 |
| a) <i>Eau pour les collectivités</i> | 128 |
| b) <i>Eau pour l'agriculture (et l'élevage)</i> | 128 |
| c) <i>Eau pour l'industrie</i> | 129 |
| 4.2. CADRE GENERAL DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU BENIN | |
| 4.2.1. Cadre traditionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin | 131 |
| a) <i>Le droit coutumier</i> | 131 |
| b) <i>Le droit colonial</i> | 131 |
| 4.2.2. Cadre juridique et institutionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin | |
| a) <i>Cadre juridique de la gestion des ressources en eau au Bénin</i> | 131 |
| b) <i>Cadre institutionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin</i> | 132 |
| 4.3. CONTRAINTES ET DEFIS POUR LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU DANS UN CONTEXTE D'AGRO-PASTORALISME DANS LE DEPARTEMENT DU BORGOU AU BENIN | 136 |
| 4.3.1. Présentation générale du département du Borgou | 136 |
| a) <i>Localisation et milieu physique</i> | 136 |
| b) <i>Milieu humain</i> | 137 |
| 4.3.2. Place de l'agro-pastoralisme dans le Borgou | 137 |
| a) <i>Zones agro-écologiques d'appartenance</i> | 137 |
| b) <i>Agro-pastoralisme comme moteur économique dans le Borgou</i> | 138 |
| c) <i>Caractéristiques de l'agro-pastoralisme dans le Borgou</i> | 139 |
| 4.3.3. Agro-pastoralisme et gestion des ressources en eau dans le Borgou | 141 |
| a) <i>L'eau : un facteur de production commun à l'agriculture et à l'élevage</i> .141 | |
| b) <i>L'eau et les conflits agro-pastoraux dans le Borgou</i> | 141 |
| c) <i>La gestion durable des ressources en eau : une nécessité</i> | 141 |
| CONCLUSION DU CHAPITRE 4 | 143 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles) | 144 |

**CHAPITRE 5 : CONNAISSANCE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN
VERSANT DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD 146**

| | |
|---|------------|
| 5.1. CADRE CONTEXTUEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE..... | 147 |
| 5.1.1. Description de la zone d'étude..... | 147 |
| <i>a) Le milieu géophysique.....</i> | <i>147</i> |
| <i>b) Caractéristiques urbaines, démographiques et socio-économiques.....</i> | <i>147</i> |
| 5.1.2. Cadre de la connaissance des ressources en eau du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud | 148 |
| <i>a) Historique de la retenue de Guessou-Sud.....</i> | <i>148</i> |
| <i>b) Description du projet « Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome » à Guessou-Sud.....</i> | <i>149</i> |
| 5.1.3. Approche méthodologique..... | 150 |
| <i>a) Localisation exacte de la retenue et collecte des données disponibles....</i> | <i>150</i> |
| <i>b) Etudes climatologiques.....</i> | <i>151</i> |
| <i>c) Etudes hydrologiques.....</i> | <i>151</i> |
| <i>d) Etude de la retenue d'eau.....</i> | <i>151</i> |
| 5.2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD..... | 152 |
| 5.2.1. Présentation du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 152 |
| <i>a) Présentation générale.....</i> | <i>152</i> |
| <i>b) Morphométrie du bassin versant.....</i> | <i>153</i> |
| <i>c) Hydrographie.....</i> | <i>158</i> |
| <i>d) Climat.....</i> | <i>160</i> |
| 5.2.2. Présentation de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 166 |
| <i>a) Description du site de la retenue.....</i> | <i>166</i> |
| <i>b) Typologie de retenue d'eau.....</i> | <i>168</i> |
| <i>c) Topographie et hydrométrie de la cuvette de la retenue.....</i> | <i>168</i> |
| 5.3. ETABLISSEMENT DU BILAN HYDRIQUE DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD | 171 |
| 5.3.1. Etablissement du bilan hydrique du bassin versant | 171 |
| <i>a) Principe du bilan hydrique.....</i> | <i>171</i> |
| <i>b) Estimation des principaux termes du bilan hydrique.....</i> | <i>173</i> |
| <i>c) Expression du bilan hydrique.....</i> | <i>176</i> |
| 5.3.2. Approche méthodologique pour l'établissement du bilan hydrique de la cuvette..... | 176 |
| <i>a) Principe du bilan hydrique au sein d'une cuvette.....</i> | <i>176</i> |
| <i>b) Périodes d'estimation des principaux termes du bilan hydrique.....</i> | <i>177</i> |
| <i>c) Périodes observées.....</i> | <i>178</i> |
| <i>d) Estimation des termes du bilan d'eau.....</i> | <i>183</i> |
| 5.3.3. Etablissement du bilan hydrique de la cuvette..... | 185 |
| <i>a) Caractéristiques pluviométriques et hydrométriques de la cuvette.....</i> | <i>185</i> |
| <i>b) Fonctions hydrologiques majeures de la cuvette et leur répartition annuelle.....</i> | <i>185</i> |
| <i>c) Bilan hydrique moyen annuel de la retenue de Guessou-Sud.....</i> | <i>187</i> |
| CONCLUSION DU CHAPITRE 5..... | 192 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)..... | 193 |

CHAPITRE 6 : DIMENSIONNEMENT ET PROPOSITION D'UN PLAN DE GESTION DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD 194

6.1. DIMENSIONNEMENT DE LA RETENUE ET BILAN HYDRIQUE DE LA CUVETTE POUR L'ANNEE QUINQUENNALE SECHE..... 195

6.1.1. Hypothèses de dimensionnement 195

a) Caractérisation hydrologique de l'année quinquennale sèche..... 195

b) Estimation des besoins en eau pour l'année quinquennale sèche..... 198

c) Géométrie de la cuvette 200

6.1.2. Dimensionnement de la retenue 201

6.1.3. Bilan hydrique de la cuvette pour l'année quinquennale sèche..... 204

a) Remplissage de la cuvette..... 204

b) Etablissement des nouvelles courbes Hauteur-Volume-Surface..... 204

c) Etablissement du bilan hydrique de la cuvette pour l'année quinquennale sèche..... 205

6.2. PROPOSITION D'UN PLAN D'AMENAGEMENT GLOBAL DE LA VALLEE ET DE GESTION QUANTITATIVE DES EAUX DE LA RETENUE..... 208

6.2.1. Proposition d'un plan d'aménagement global de la vallée 208

a) Objectifs d'aménagement..... 208

b) Aménagement de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... 208

c) Aménagement des alentours de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... 209

6.2.2. Proposition d'un plan de gestion quantitative des eaux..... 212

a) Objectifs et principes de la gestion quantitative des eaux stockées..... 212

b) Modalités et mécanismes de mise en œuvre..... 213

CONCLUSION DU CHAPITRE 6..... 218

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)..... 218

CONCLUSION DE LA PARTIE II : VOLET « EAUX »..... 220

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES..... 224

LISTE DES FIGURES..... 229

LISTE DES TABLEAUX..... 231

LISTE DES ANNEXES..... 233

ANNEXES..... 234

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|-----------------|---|
| ABE | Agence Béninoise de l'Environnement |
| ADEME | Agence française De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie |
| AFD | Agence Française de Développement |
| ANOVA | ANalysis Of Variance |
| ASBL | Association Sans But Lucratif |
| ASECNA | Agence pour la SECurité et la Navigation Aérienne |
| AUE | Association des Usagers d'Eau |
| Béké | Bembéréké |
| BEP | Bureau Economique de la Province de Namur |
| BM | Banque Mondiale |
| BS | Bas Standing |
| CE | Communauté Européenne |
| CENAGREF | Centre National de Gestion des Réserves et de la Faune |
| CENATEL | CEntre NATional de TELédétection |
| CeRPA | Centre Régional de Promotion Agricole |
| CET | Centre d'Enfouissement Technique |
| CSR | Combustibles Solides de Récupération |
| DAGR | Direction de l'Aménagement et de la Gestion des Ressources Naturelles |
| DAT | Délégation à l'Aménagement du Territoire |
| DCAM | Développement Communautaire et Assainissement du Milieu |
| DE | Direction de l'Environnement |
| DFRN | Direction des Forêts et Ressources Naturelles |
| DGH | Direction Générale de l'Hydraulique |
| DGO3 | Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement |
| DGR | Direction du Génie Rural |
| DGSIE | Direction Générale de la Statistique et de l'Information Economique |
| DHAB | Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de base |
| DSM | Déchets Solides Municipaux |
| DUA | Direction de l'Urbanisme et de l'Assainissement |
| EMICoV | Enquête Modulaire Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| EUROSTAT | Office Statistique des Communautés Européennes |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FCFA | Franc de la Communauté Française d'Afrique |
| FFDM | Fonds Français pour l'Environnement Mondial |
| FIDA | Fond International de Développement Agricole. |
| FIT | Front InterTropical |
| GES | Gaz à Effet de Serre |
| GIE | Groupements d'Intérêt Economique |
| GPS | Global Positioning System |
| GWP/WA | Global Water Partnership/West Africa |

| | |
|------------------|---|
| HS | Haut Standing |
| IBGE | Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement |
| IGN | Institut Géographique National |
| INSAE | Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique |
| MAEP | Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche |
| MDAEP | Ministère du Développement, de l'Analyse Economique et de la Prospective |
| MEDDE | Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie |
| MMEE | Ministère des Mines de l'Energie et de l'Eau |
| MMEH | Ministère des Mines de l'Energie et de l'Hydraulique |
| MO BIO | Matière Organique Biodégradable |
| MODECOM | MéthODE de Caractérisation des Ordures Ménagères |
| MS | Moyen Standing |
| NIMBY | Not In My Back Yard |
| ONG | Organisation Non Gouvernementale |
| ORSTOM | Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer |
| PACOB | Programme d'Appui Conseil aux Organisations de Base |
| PCB | PolyChloroBiphényles |
| PCI | Pouvoir Calorifique Inférieur |
| PDC | Plans Communaux de Développement |
| PE | PolyEthylène |
| PVC | Polychlorure de Vinyle |
| PS | PolyStyrène |
| PED | Pays En Développement |
| PIB | Produit Intérieur Brut |
| PNA | Politique Nationale d'Assainissement |
| PNUD | Programme des Nations Unies pour le Développement |
| RDC | République Démocratique du Congo |
| REFIOM | Résidu d'Épuration des Fumées d'Incineration des Ordures Ménagères |
| REGIA | Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome |
| REMECOM | Réseau de Mesure Européen des Ordures Ménagères |
| Rép. | République |
| SH | Services de l'Hydraulique |
| SNV | Schweizerische Normen-Vereinigung |
| SONEB | Société Nationale des Eaux du Bénin |
| STEP | Station d'Épuration |
| STPC-GIRE | Secrétariat Technique pour la Promotion et la Coordination de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau |
| TEOM | Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères |
| UE | Union Européenne |
| UNICEF | United Nations Children's Emergency Fund |

PARTIE I : VOLET « *DECHETS* »

INTRODUCTION

INTRODUCTION

En Afrique subtropicale, le désarmement des institutions publiques et leur incapacité à réagir rapidement et efficacement face à une croissance démographique sans pareille et à un exode rural massif ont eu des effets néfastes, parmi lesquels : une sursaturation des infrastructures, déjà jugées insuffisantes, en matière d'assainissement. Parce que la gestion des déchets est désormais une compétence communale et que la maigre part du budget allouée au secteur diminue au fil des années, les élus locaux, soucieux d'améliorer le cadre de vie des populations via une gestion adéquate d'importantes quantités de déchets émises, recherchent divers appuis via des conventions, coopérations et partenariats. Le projet « *mise en place d'une filière de gestion des déchets solides* » s'inscrit dans le cadre du partenariat Arlon-Bembéréké. Au Bénin, la gestion des déchets solides se veut locale car dit-on, la production des déchets est locale. Mais alors, face à l'absence cruciale des données locales sur les caractéristiques des déchets, les gestionnaires, pour mettre sur pied la filière de gestion, empruntent très souvent les données parfois peu fiables et non actualisées des métropoles, accroissant de ce fait les risques d'échec de telles initiatives.

Pour contribuer à la réussite de ce projet, nous nous sommes proposé de caractériser et quantifier les déchets émis dans le centre urbain de Bembéréké afin de mettre à la disposition des autorités compétentes des données de base leur permettant objectivement de choisir la filière adéquate, de la dimensionner et d'évaluer plus finement les coûts y afférents. Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- Préciser les enjeux de la caractérisation des déchets solides, face à la problématique de la gestion des déchets solides, dans les entités nouvellement indépendantes que sont les communes en Afrique subtropicale ;
- Mettre sur pied une méthode de caractérisation simple, rapide, peu coûteuse, et flexible répondant aux spécificités des villes secondaires et aux contraintes des projets de gestion des déchets solides en Afrique subtropicale ;
- Connaître les déchets solides à l'échelle locale de Bembéréké et mettre en évidence la nécessité pour chaque commune de disposer au préalable de la typologie de ses déchets et de procéder régulièrement à leur mise à jour ;
- Dresser un inventaire des filières potentielles de gestion de ces déchets et en proposer une qui satisferait aux exigences environnementales, communautaires et économiques.

Trois principaux chapitres constituent ce volet de la thèse :

- Le premier chapitre fait un état des lieux sur la salubrité en Afrique subtropicale et à Bembéréké, met en exergue les enjeux de la caractérisation des déchets solides et présente l'essentiel des méthodes de caractérisation existantes.
- Le deuxième chapitre précise le contexte de la caractérisation des déchets solides à Bembéréké, décrit la méthode de caractérisation mise en place ; présente, analyse et interprète les principaux résultats obtenus.
- Le troisième chapitre évoque les bases globales de la gestion des déchets solides, précise la typologie des déchets solides en présence, élabore divers scénarios de gestion et présente le scénario retenu pour la gestion des déchets solides à Bembéréké.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTERATURE

C'est au bout de la vieille corde qu'on tisse la nouvelle...

Proverbe Africain

1.1. LA PROBLEMATIQUE DES DECHETS SOLIDES DANS LES PED ET PARTICULARITE DE BEMBEREKE

1.1.1. Etat des lieux sur la salubrité

a) Définitions

Selon l'OMS cité par Kifuani, la **salubrité** est un état de l'habitat dont les services ci-après sont assurés avec efficacité :

- Evacuation régulière des déchets ménagers, des immondices, des excréta, des eaux usées et de ruissellement ;
- Traitement régulier des effluents d'eaux usées et de divers déchets, y compris les déchets radioactifs ;
- Désinsectisation et dératisation de tous les vecteurs de maladies et des agents de nuisance notamment les moustiques, les rats, les mollusques, les mouches, les glossines, les simulies, les cafards, etc. [26]

SY Ibrahima dans sa thèse définit la **gestion de la salubrité** comme « *l'ensemble des mécanismes mis en place pour maîtriser les facteurs de pollution environnementale liée aux déchets ainsi que les pratiques citadines susceptibles de moduler diversement des situations de salubrité liées aux effets d'une organisation des interventions publiques* ».

La gestion actuelle des déchets solides municipaux en Afrique au sud du Sahara est-elle jugée satisfaisante pour concourir à ce volet de la salubrité ?

b) La salubrité dans les PED

Selon Chalot (2004) cité par Sotamenou en 2009, de tous les temps et en tous lieux, la production des déchets est inhérente aux activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles, industrielles ou commerciales. Mais en Afrique, comme partout, ce n'est qu'avec le fait urbain qu'elle devient véritablement une problématique publique.

Aujourd'hui, en Afrique, à la faveur d'une urbanisation galopante et de ses corollaires, l'assainissement et la gestion des déchets sont devenus des préoccupations importantes. Il suffit de traverser n'importe quelle ville africaine pour constater les manifestations de ce problème: amoncellements de déchets, détritrus le long des routes, ruisseaux bloqués, sites d'enfouissement menaçant la santé dans les secteurs résidentiels, et élimination inadéquate des déchets toxiques. [31]. Ces phénomènes ont des conséquences dans les domaines de l'habitat, de l'éducation, de la santé et de l'environnement. Les capacités des autorités urbaines à procurer aux citoyens des services de base adéquats et un environnement sain sont dépassées. Les pressions sur l'environnement sont tangibles, les infrastructures et les réseaux urbains en place sont surchargés et/ou inopérants. Donc, les villes africaines produisent des déchets dont elles ne peuvent se débarrasser de manière à préserver leur santé et leur environnement.

Les systèmes actuels de gestion des déchets solides municipaux se limitent très souvent à de faibles taux de collecte (tableau 1), au recyclage et réutilisation via les opérateurs informels, à la mise en décharge dans des conditions peu satisfaisantes et très souvent à l'incinération à l'air libre sur les décharges et les dépôts sauvages. Ces systèmes déjà insuffisants, conjugués au manque ou à l'insuffisance des réseaux de drainage et de traitement des déchets liquides contribuent à la prolifération des insectes et rongeurs, nuisibles à la santé de l'homme.

Tableau 1 : taux de collecte des Déchets Solides Municipaux (DSM) dans quelques grandes villes africaines

| Ville | Population | Croissance annuelle (%) | DSM collectés (%) |
|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------|
| Yaoundé (Cameroun) | 1 720 000 | 6,8 | 43 |
| Nairobi (Kenya) | 2 312 000 | 4,14 | 30-45 |
| Dakar (Sénégal) | 1 708 000 | 3,93 | 30-40 |
| Abidjan (Cote d'ivoire) | 2 777 000 | 3,98 | 30-40 |
| Lomé (Togo) | 1 000 000 | 6,5 | 42,1 |
| N'djaména (Tchad) | 800 000 | 5 | 15-20 |
| Nouakchott (Mauritanie) | 611 883 | 3,75 | 20-30 |

(Source : Sotamenou et Kamgnia, 2009)

Au vu de ce qui précède, la salubrité et la gestion de ses aspects en lien avec les déchets solides municipaux dans les PED sont loin d'être satisfaisantes.

c) La salubrité à Bembéréké

Comme la plupart des villes dans les PED, Bembéréké connaît un phénomène d'urbanisation imputable à l'exode rural et à la croissance démographique (4,69 %). Cette explosion démographique est synonyme de production et d'accumulation rapide des déchets solides et par conséquent, de détérioration de l'environnement et d'augmentation des risques d'insalubrité. Elle doit faire face aux difficultés que rencontrent les autres villes africaines connaissant une telle urbanisation galopante, notamment dans la collecte, le transport et l'élimination des déchets solides ménagers. La présence des dépotoirs sauvages près des habitations (47 % des ménages sont distants de moins de 10 m des dépotoirs sauvages), l'obstruction des voies et le remblayage des creux par les déchets, l'éparpillement de ces déchets par les animaux en divagation et le vent, le brûlage des déchets du fait de l'inexistence des structures de gestion des déchets, le manque de sensibilisation et de comportements éco citoyens font que les maladies (paludisme et infections respiratoires), les pollutions (atmosphérique, esthétique, aquatique, pédologique) et les nuisances olfactives sont le quotidien des populations. La ville de Bembéréké produisait en 2005 plus de 15 tonnes de déchets solides ménagers par jour soit environ 0,55kg/hab et le système de gestion des déchets en place consiste aux pratiques endogènes de brûlage et de mise en décharge sauvage. [9]. Le climat qui y règne favorise la dégradation rapide des déchets et l'impossibilité de les stocker pendant plus de trois jours successifs dans les ménages et plus de deux mois dans les centres de regroupement sans atteinte au confort des habitants et des riverains.

Tableau 2 : quelques aspects de l'insalubrité à Bembéréké

| AISANCE | | EVACUATION DES EAUX USEES | | EVACUATION DES ORDURES MENAGERES | |
|------------------------|-------------|---------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| <i>Mode</i> | % | <i>Mode</i> | % | <i>Mode</i> | % |
| Latrines ventilées | 5 | Caniveau ouvert | 0,2 | Voirie publique | 0,1 |
| Latrines non ventilées | 11,9 | Caniveau fermé | 0,2 | Voirie privée | 0,3 |
| Latrines suspendues | 0,9 | Fosse septique | 1,2 | Enterrement | 0,1 |
| Latrines tinettes | 0,1 | Fosse perdue | 1 | | |
| Toilettes chassées | 0,5 | Egouts | 0,3 | brûlage | 1,8 |
| Réseaux d'égouts | 1,5 | Cours | 11,1 | | |
| Nature | 79,4 | Nature | 85,9 | Nature | 97,6 |
| Autre | 0,7 | Autre | 0 | Autre | 0 |

(Source : Système d'Information Communal, Borgou)

A Bembéréké, la nature (espace vide le plus immédiat des habitations) reste le lieu privilégié des populations pour se défaire anarchiquement de leurs déchets et excréta expliquant l'air nauséabond qui circule dans la ville. La propreté n'est pas la chose la mieux partagée et est reléguée au second plan face aux besoins criants d'ordre alimentaire. L'assainissement reste donc problématique à Bembéréké tout comme dans la majorité des villes au Bénin et en Afrique subsaharienne.

1.1.2. Contexte politique et cadre réglementaire de la gestion des déchets au Bénin

La gestion des déchets fait partie du vaste domaine de l'assainissement. L'**assainissement** en général est une démarche visant à améliorer la situation sanitaire globale de l'environnement dans ses différentes composantes. Il comprend la collecte, le traitement et l'évacuation des déchets liquides, des déchets solides et des excréments.

Au Bénin, quand on parle de l'assainissement, il s'agit simultanément de la gestion des excréta, des eaux usées et de boues de vidange ; **la gestion des déchets solides** ; la gestion des déchets biomédicaux ; la gestion des déchets industriels et dangereux ; la maîtrise des eaux pluviales et des inondations et de l'hygiène du milieu.

La gestion des déchets solides, quant à elle, renvoie à l'ensemble des opérations d'évacuation des déchets depuis les lieux de production (ménages, marchés) jusqu'à leur élimination finale et sécurisée et/ou leur valorisation. Pour mener à bien ces tâches, le Bénin s'est doté d'un arsenal juridique et réglementaire. Nous pouvons ainsi citer : (i) la politique nationale d'assainissement ; (ii) la loi cadre sur l'environnement ; (iii) les lois sur la décentralisation.

a) La Politique Nationale d'Assainissement (PNA)

La politique nationale d'assainissement élaborée en 1995 définit les responsabilités institutionnelles et propose des options technologiques pour les différentes composantes de l'assainissement. Elle s'appuie notamment sur les principes suivants :

- Privilégier les solutions autonomes et décentralisées, peu coûteuses et faciles d'entretien ;
- Considérer l'ensemble de la chaîne allant de la production des déchets à leur traitement, de manière respectueuse pour l'environnement : collecte – stockage – transport – recyclage et traitement ;
- Prendre en considération pour l'organisation des services d'assainissement les besoins d'assainissement qui diffèrent en fonction du milieu (rural, semi urbain et urbain) ;
- La participation des communautés au financement des ouvrages, à leur exploitation et à leur entretien. [36]

Concernant la gestion des déchets solides municipaux (DSM), un décret est particulièrement applicable ; il s'agit du décret N°2003-332 du 27 août 2003 portant gestion des déchets solides en République du Bénin. Ce décret s'intéresse entre autres à la prévention et la limitation des déchets et leur nocivité lors de leur production et lors de leur gestion en mettant un accent particulier sur la promotion de leur valorisation. [16]

b) La loi cadre sur l'environnement

Par environnement, on entend l'ensemble des éléments naturels et artificiels ainsi que les facteurs économiques, sociaux et culturels qui influent sur les êtres vivants et que ceux-ci peuvent modifier. [36]. Sa préservation et sa bonne gestion constituent un fondement essentiel du développement durable et de la réduction de la pauvreté pour le PNUD. Au Bénin, la loi cadre sur l'environnement pose les principes de base de la protection de l'environnement. Mais avant elle, les objectifs et principes généraux de la politique environnementale béninoise sont inscrits dans les articles 27, 74, 98 alinéa 25 de la constitution béninoise du 11 décembre 1990 : il s'agit de la protection de l'environnement et de la conservation des ressources naturelles, le maintien d'un environnement sain, satisfaisant durable et favorable au développement.

L'article 4 de la **loi N° 98-030 du 12 février 1999** portant Loi cadre sur l'environnement en République du Bénin énumère par ailleurs les objectifs suivants : protéger l'environnement notamment en prévenant et anticipant les actions de nature à avoir des effets immédiats ou futurs sur la qualité de l'environnement. Cela consistera à faire cesser toute pollution ou dégradation ou tout au moins en limitant les effets négatifs sur l'environnement, en promouvant l'assainissement dans le but d'améliorer le cadre de vie, en surveillant étroitement et en permanence la qualité de l'environnement, en restaurant les zones et les sites dégradés et en assurant l'équilibre entre l'environnement et le développement. Cette politique environnementale est encore au stade embryonnaire et aucune mesure coercitive n'amène les usagers à avoir un comportement vertueux vis à vis de l'environnement. [12]

c) Les lois sur la décentralisation

La décentralisation consiste dans le transfert d'attributions de l'État à des collectivités ou institutions différentes de lui et bénéficiant, sous sa surveillance, d'une certaine autonomie de gestion. Elle crée un champ politique à l'échelle locale et favorise l'autonomie des acteurs, l'émergence de leaders et l'exercice d'une citoyenneté. A savoir la participation des populations à la gestion des affaires publiques locales. [25]

La loi 97-029 du 15 janvier 1999 portant organisation des communes en République du Bénin confère à la commune la maîtrise d'ouvrage dans le domaine de l'assainissement sur son territoire dans le respect de la stratégie sectorielle, des réglementations et des normes nationales en vigueur. La loi précise en particulier :

- La commune a la charge : (article 93)
 - de la collecte et du traitement des déchets solides autres que les déchets industriels;
 - de la collecte et du traitement des déchets liquides ;
 - du réseau public d'évacuation des eaux usées ;
 - du réseau d'évacuation des eaux pluviales ;
 - des ouvrages d'aménagement des bas fonds et de protection contre les inondations.
- Pour les voies qui ne relèvent pas expressément d'autres institutions ou organes, la commune a la charge de la réalisation et de l'entretien des voies urbaines et de leurs réseaux d'assainissement en zones agglomérées. (article 88)

La commune exerce ses compétences en conformité avec les stratégies sectorielles, les réglementations et normes nationales en vigueur. (article 108). [36]

Ces dispositions sont complétées par les stratégies sous sectorielles qui détaillent les modalités de mise en œuvre des politiques. En ce qui concerne les déchets, nous avons la Stratégie Nationale de Gestion des Déchets. Adoptée en 2008, la stratégie nationale de gestion des déchets s'intéresse plus particulièrement aux déchets solides ménagers et ceux provenant des marchés avec comme objectifs :

- assurer la gestion des déchets sans mettre en danger la santé publique ni l'environnement ;
- encourager la minimisation quantitative et qualitative de la production des déchets ;
- établir des méthodes et proposer des infrastructures et équipements assurant l'élimination au moindre coût économique et environnemental.

Les solutions proposées s'appuient sur les principes directeurs suivants :

- La production des déchets étant avant tout locale, la gestion de la filière doit être conduite de façon avant tout locale ;
- Le déchet doit être regardé non plus comme une nuisance mais comme une ressource et la filière des déchets solides doit être considérée comme une activité économique créatrice d'emplois et de revenus ;
- La commune doit élaborer un Plan de Gestion des Déchets. Elle doit établir des procédures et règles transparentes en matière de gestion des déchets. Elle doit recourir à la concurrence, dans un cadre légal et institutionnel, source de réduction des coûts,

d'innovation, d'émergence et de multiplication de savoir-faire. Elle doit se doter de capacités d'évaluation et de contrôle ;

- Dans la gestion de la filière, les relations sont contractuelles et les communes établissent des contrats pluriannuels pour sécuriser les entreprises privées et les encourager à investir ;
- Pour que la filière soit durable, il faut qu'elle bénéficie de financements permanents et gérés de façon transparente. Autant que possible, ces financements feront appel à plusieurs sources parmi lesquelles on peut trouver le financement par les producteurs de déchets selon le principe du « pollueur – payeur » ;
- Les entreprises professionnelles dans le domaine de la gestion des déchets doivent bénéficier de facilités tarifaires et d'accès au crédit.

Les options stratégiques proposées selon les types de déchets qui nous intéressent sont les suivantes :

➤ **Les déchets ménagers solides**

La filière des déchets ménagers comporte les phases suivantes :

- la pré-collecte des lieux de production au point de regroupement ;
- la collecte et le transport sur un site final ;
- le traitement qui comporte l'élimination ou/et la valorisation.

La pré-collecte est confiée, par la commune, à des ONG ou des micro entreprises, la collecte et le transport à des entreprises privées.

➤ **Les déchets des marchés**

Chaque marché doit établir un plan de gestion de ses déchets et définir un cadre contractuel transparent pour l'élimination de ses déchets. Les charges afférentes à la gestion sont couvertes par les taxes et redevances payées par les usagers.

Malgré l'arsenal juridique et institutionnel en matière d'assainissement dont le Bénin dispose, les efforts fournis et la volonté dont font montre les élus locaux, force est de constater que l'état de salubrité des villes reste alarmant. Ceci semble imputable non seulement aux failles et faiblesses relevées dans la mise en œuvre de ces dispositions réglementaires et légales mais également à la pauvreté manifeste des individus qui devraient participer comme l'évoque la Politique Nationale d'Assainissement, non seulement au financement des ouvrages mais également à leur exploitation et à leur entretien.

1.1.3. Contexte de pauvreté des populations locales et nécessité d'intervention

a) Les aspects de la pauvreté en rapport avec la gestion des déchets au Bénin et à Bembéréké à particulier

Quoique plusieurs définitions existent pour ce même terme, les différents auteurs s'accordent de plus en plus sur le fait que ce phénomène est plutôt multidimensionnel. En effet, quand on évoquait la pauvreté, on se référait uniquement aux aspects pécuniaires (financiers) qui aujourd'hui en réalité se révèlent n'être qu'une de ses multiples facettes.

Ainsi, Coulibaly en 2007, cité par Hounkpodote en 2009, définit la **pauvreté** comme « *une situation illustrant une insuffisance des ressources matérielles (manque d'argent) et des conditions de vie (logement, équipements, participation à la vie sociale et économique, etc.), ne permettant pas à des individus de vivre quotidiennement de façon digne selon les droits légitimes et vitaux de la personne humaine* ».

Dans cette définition, on note donc d'une part la pauvreté monétaire et d'autre part la pauvreté des conditions de vie (non monétaire). Pour définir et estimer les différents aspects de la pauvreté, plusieurs approches utilisant des indicateurs clairs objectifs et/ou suggestifs ont été utilisées et les résultats obtenus par ces méthodologies sont concluants.

Parmi ces approches nous citerons celle qui utilise la technique d'analyse factorielle pour le calcul d'un indicateur de bien-être. Cette approche permet aussi de faire un choix optimal des dimensions pertinentes de la pauvreté tout en évitant la redondance de l'information. D'autres auteurs ont analysé la pauvreté par l'approche des sous-ensembles flous et ont montré qu'elle offre un cadre idéal pour appréhender le phénomène de façon multidimensionnelle. L'avantage de cette approche est qu'elle combine à la fois la dimension monétaire et non monétaire de la pauvreté. [17]

C'est ainsi qu'en étudiant la pauvreté au Bénin en 2006 par cette dernière approche Hounkpodote en 2009 aboutit au principal résultat suivant : 53,90 % des ménages béninois sont structurellement pauvres en 2006 (l'indice flou multidimensionnel de pauvreté calculé dans son étude se situe à 0,5390). Un examen désagrégé de cet indice flou multidimensionnel de pauvreté obtenu pour le Bénin a permis d'identifier les principales causes contribuant à l'état de privation des ménages par calcul des indices unidimensionnels de pauvreté. Après l'accès à l'information (12,86 %), viennent l'hygiène (12,63 %), la sécurité financière (12,08 %), l'équipement (11,76 %), le logement (11,47 %) et la santé (11,02 %) qui contribuent grandement à la pauvreté des ménages. Il convient de rappeler que l'hygiène dans l'étude ici mentionnée, renvoie au type d'eau utilisée, au débarras des ordures et au besoin de vêtements. L'auteur souligne que bien que la pauvreté monétaire contribue de façon non négligeable à la pauvreté globale des individus, elle ne vient qu'en troisième position. [17]

En matière de gestion de déchets, ces principales facettes de la pauvreté restent valables dans tous les pays au sud du Sahara et en constituent l'un sinon le frein majeur. Evoquons donc certaines de ces facettes qui affectent considérablement la gestion des déchets solides au Bénin et à Bembéréké en particulier.

➤ **La pauvreté éducationnelle**

Il peut s'agir de différents aspects de l'éducation parmi lesquels l'éducation de base, l'instruction, l'éducation à l'environnement, etc. Si l'éducation et l'instruction apparaissent pour certains comme des facteurs clés pour un développement économique durable, c'est d'autant plus vrai pour réduire la pauvreté non monétaire. En effet au Bénin, l'incidence de la pauvreté non monétaire est de 2 % dans les ménages dont le chef à un niveau d'instruction supérieur tandis qu'elle est de 30 % dans les ménages dont le chef n'a aucun niveau d'instruction. [22]

En matière de gestion de déchets, des lacunes existent encore par absence d'éducation environnementale conséquente dans les programmes scolaires et de sensibilisation du grand public aux aspects environnementaux. Gérer l'environnement revient aussi à gérer les déchets. Tout déchet doit faire l'objet d'une gestion de façon à préserver la santé humaine et l'environnement. Donc, tout déchet produit et mal géré devrait être considéré comme une menace directe. Déjà la perception des populations en matière de déchets et d'insalubrité ne permet pas la mise en place d'un service autonome et viable de collecte des déchets. Les habitudes et les pratiques généralisées consistant à déverser les ordures ménagères dans des plans d'eau, des dépotoirs sauvages, des caniveaux et ruelles perdurent. Le désengagement et la déresponsabilisation sont observés au sein des populations qui considèrent que la gestion des déchets reste l'affaire des autres et non celle de tous.

Quand on sait que les enfants sont un excellent relai pour la transmission des informations et des bonnes pratiques reçues, il s'avère urgent d'ancrer l'éducation environnementale dans le système scolaire afin de modifier les comportements et perceptions dans les maisons et dans les rues en matière de gestion de déchets solides.

➤ **La pauvreté monétaire**

La satisfaction des besoins essentiels des ménages au Bénin est une pénibilité quotidienne imputable à l'absence ou à l'insuffisance des ressources financières et accentuée par la conjoncture économique.

La gestion des déchets étant le parent pauvre de l'économie dans la majorité des PED, au Bénin l'allocation budgétaire à l'hygiène et à l'assainissement est encore trop faible. Elle représente moins de 2 % du budget de la santé et ne cesse de décroître d'année en année (4,27 % en 2008 contre 1,5 % en 2010). [37]. Cette allocation budgétaire généralement utilisée pour la construction de certaines infrastructures et pour la dotation en matériel de base ne permet que le lancement des activités de gestion des déchets et leur poursuite dépend surtout des taxes et redevances diverses perçues des ménages et structures abonnés au service. La multitude de projets de gestion des déchets solides initiés a connu des échecs à cause d'un manque de participation financière conséquente et continue des ménages pouvant couvrir partiellement les frais de fonctionnement.

Près des trois quarts de la population de Bembéréké vivent des revenus des activités agricoles, le reste de la population vit du commerce et de l'artisanat. La chute du prix du coton a été un facteur contraignant dans le quotidien de ces populations et dès lors, c'est pénible de subvenir aux besoins dans la majorité des cas. Dans ce contexte d'incertitudes liées à la fluctuation constante du prix des matières premières, les maigres revenus des ménages sont alloués aux premières nécessités et la gestion des déchets n'est pas prioritaire. Dans le Plan de Développement Communal de Bembéréké, la gestion des déchets ménagers est l'une des priorités, mais les ressources financières propres de la commune et l'aide des partenaires au développement n'ont pu servir qu'à la construction des centres de regroupement dans chaque quartier et qu'à l'obtention du matériel de base rudimentaire pour la pré-collecte. Le taux d'abonnement bas (moins de 20 %) d'une part n'a pas permis de soutenir les activités. Le financement durable des filières de gestion des déchets solides reste une question cruciale.

➤ **Pauvreté en logements**

Il s'agit de la qualité et de la disponibilité des logements. En effet, l'urbanisation galopante et l'accroissement naturel de la population dans les PED créent des besoins de plus en plus croissants en logements adaptés, on observe alors depuis quelques années des extensions anarchiques des villes dans des conditions peu satisfaisantes en matière d'hygiène et de salubrité. Les villes surpeuplées plus que jamais voient leurs infrastructures surchargées du fait que les autorités n'ont pas anticipé ces dynamiques urbaines. Loger toute la population dans des habitations classiques devient une préoccupation majeure. Les conditions d'habitation au Bénin sont définies en fonction des caractéristiques de ces habitations que sont le statut d'occupation des unités d'habitation et la qualité des matériaux de construction (murs, toits, revêtements du sol ...); et en fonction du confort du logement. Ces éléments ont des impacts sur l'offre et la qualité des services en relation avec la gestion des déchets. C'est ainsi qu'au Bénin où prédomine encore la vie en communauté (unités d'habitation concentrées dans les concessions), la gestion des déchets solides ménagers est une affaire de collectivité réservée aux femmes et aux enfants.

Il devient donc très difficile de se loger dans les villes sub-sahariennes de nos jours. Si dans les quartiers viabilisés, il existe souvent des systèmes d'évacuation d'eaux usées et d'ordures ménagères, tel n'est pas le cas dans les quartiers (périphériques ou enclavés) bondés que sont ces quartiers à habitat spontané où règnent la promiscuité et l'insalubrité. Dans ces quartiers, les habitations étroites et inadaptées sont construites dans des zones à risques et instables avec des matériaux archaïques et peu durables issus de la récupération. Les déchets produits en grande quantité et majoritairement constitués des matières fines (sables) et de matière organique biodégradable sont jetés dans la nature où ils sont rejoints par les excréta et les eaux usées. Sous les effets combinés des intempéries et des conditions du milieu, ces déchets deviennent une menace réelle pour la santé des populations.

A Bembéréké, 79 % des individus vivent en communauté donc dans des concessions dont les toitures sont très souvent (75 %) en tôles, les murs en terre (68 %) et le sol en ciment (56 %) ou en terre (41 %). Dans ces logements traditionnels distribués de façon éparse au sein de la commune, les déchets solides (issus du balayage répétitif des cours d'habitations, de la cuisson des aliments et d'autres tâches ménagères) contiennent une forte proportion de sables/fines et de déchets organiques qui alourdit les poubelles. Ces déchets étaient disposés dans de vieux récipients ou à même le sol à la merci des intempéries puis déversés dans la nature (98 %) où les plus légers sont emportés par le vent et le reste brûlé après avoir subi quelques dégradations. Ces agissements sont favorisés par la pénibilité d'accès à ces logements, le manque de matériel roulant pour la pré-collecte et par la présence d'espaces vides près des habitations. [21]

Face à cette situation et aux besoins de plus en plus criants des populations en matière de gestion de déchets, l'urgence d'une intervention n'est plus à démontrer.

b) Nécessité d'intervention

Si se développer est une aspiration individuelle et commune, protéger l'environnement est une responsabilité individuelle, commune et universelle. Afin de concilier développement et

protection de l'environnement à travers la gestion durable des déchets solides ménagers, une intervention s'avère nécessaire et ce, à plusieurs niveaux (réglementaire, institutionnel, éducationnel, organisationnel, fonctionnel, financier, etc.) tant dans l'espace (local, régional, national et mondial) que dans le temps (court, moyen et long terme). La gestion de l'environnement doit être combinée aux efforts de lutte contre la pauvreté et d'instauration d'un développement soutenable. [4]

Concernant précisément la gestion des déchets solides ménagers, Moulay souligne en 2010 dans « l'urgence d'une assistance » qu'en dépit des efforts fournis, les difficultés d'ordre technique, financier, social et institutionnel dont souffrent les PED rendent difficile la résolution définitive de ce problème. D'où il serait nécessaire pour les pays développés de mettre en place des politiques de soutien, afin d'aider les PED à mieux gérer ce problème et par la même participer à l'effort mondial de protection de l'environnement. Car pour lui, il est impératif et primordial de généraliser la maîtrise de ce domaine pour le bien-être de tous, du fait de la responsabilité universelle de protection de l'environnement. Cette idée est partagée dans *Alter Egaux* où il est mentionné que c'est principalement aux pays riches et aux personnes favorisées dans les pays pauvres qu'incombe la responsabilité de remédier aux problèmes écologiques et de soutenir les pays pauvres à s'engager sur la voie d'un développement qui préserve l'environnement.

Houanye, en 2010, révèle la nécessité pour tous d'œuvrer pour amener l'ensemble des populations béninoises à faire de l'assainissement une véritable cause nationale. Cela passe par une offre de services suffisants, des logements adéquats et accessibles, une diffusion des connaissances, une conscientisation, une responsabilisation, une planification et une assistance (financière, technique, organisationnelle,...).

Si plusieurs auteurs soulignent que la science n'est pas au service de la filière et suggèrent la mise en place d'un système de gestion de l'information et des résultats de recherches pour la constitution d'une base de données sur la gestion des déchets en Afrique, cependant très peu d'études attaquent le problème à l'amont donc aux quantités et aux compositions des déchets solides produits au sein des municipalités. La caractérisation des déchets est essentielle et ses enjeux sont divers.

1.2. LES ENJEUX DE LA CARACTERISATION DES DECHETS

1.2.1. Enjeux politiques

Toute politique de gestion se voulant durable devrait être définie de manière à prendre en compte et maîtriser toutes les étapes et niveaux qui la constituent. C'est valable également pour la politique de gestion des déchets solides municipaux dont la définition devrait prendre racines sur des bases réelles que constitue la connaissance des gisements. La caractérisation des déchets solides municipaux est alors un préalable pour définir convenablement une politique nationale de gestion qui servirait de guide général tout en gardant sa flexibilité pour permettre l'intégration des spécificités dans l'élaboration des plans logiques de gestion au niveau local.

Elle permettra de mieux dégager les priorités, définir les stratégies, planifier et exécuter les actions, évaluer objectivement les performances des systèmes et mécanismes mis en place tout en intégrant les variations susceptibles d'être observées à moyen et à long terme. Elle donne des bases réelles et solides pour opérer des choix adéquats et en ce sens, c'est donc un puissant outil d'aide à la décision recommandé aux collectivités sans pour autant être une obligation. Elle orientera le choix rationnel de la politique de gestion à mettre en place jusqu'à son exécution en passant par l'élaboration des stratégies organisationnelles et opérationnelles, l'identification des acteurs qualifiés, l'attribution des tâches sous-jacentes, le partage des responsabilités tout en réglementant et en régulant les activités premières et connexes qui y sont attachées.

Une véritable volonté politique de mise sur pied d'une filière de gestion des déchets peut également être manifestée et confirmée par le souhait des autorités compétentes de disposer à priori des données quantitatives et qualitatives sur l'objet de leur gestion. C'est ainsi qu'elle permettra d'éviter de se lancer dans une gestion des déchets aveugle préjudiciable et dont plusieurs gestionnaires ont déjà fait les frais car la validité des résultats de caractérisation des déchets est locale et instantanée.

1.2.2. Enjeux socio-économiques

La connaissance précise des déchets est importante à ce niveau dans ce sens où elle permettra d'organiser convenablement toutes les étapes/niveaux d'intervention, de dimensionner correctement les diverses équipes/unités et d'en déduire les coûts y afférents. Les informations relatives aux volumes et tonnages des déchets produits et aux pratiques habituelles des populations permettront par exemple de mieux organiser la pré-collecte en définissant son type et sa fréquence ; en adaptant le matériel de disposition et de transport des déchets ; en dimensionnant les équipes de pré collecte et en rédigeant leur cahier de charge tout en budgétisant clairement. Les équipements de traitements pourront également être facilement adaptés à la nature et aux volumes des gisements afin d'en éviter les gaspillages ou les pénuries dus au (sur/sous) dimensionnement. La connaissance des différents flux de déchets permettra d'une part de dégager les actions futures et d'autre part de mieux enclencher les mécanismes de financements. La gestion des déchets solides municipaux crée une économie sociale dans le sens où elle offre des emplois aux personnes peu ou pas qualifiées et aux personnes souvent marginalisées. Elle permet également de soutenir les artisans locaux, de faciliter la réinsertion sociale et de générer des profits conséquents. La connaissance des déchets peut amplifier et réglementer ces aspects en ce sens qu'elle permet de mieux définir les besoins tout en priorisant les opportunités locales quant à leur satisfaction. Ces besoins sont formulés en termes de main d'œuvre ; d'outils artisanaux rudimentaires, durables et adaptés ; de parcelles/terrains pour la construction et l'implantation des infrastructures ; d'harmonisation et sécurisation des activités informelles de récupération ; de marchés ou points d'écoulement de produits de recyclage/valorisation ; etc. Les plans de recouvrement des frais d'investissement et de fonctionnement pourront être établis en connaissance de causes. Ainsi, disposant de la composition des flux, l'évaluation de la rentabilité du recyclage et de la valorisation de certaines catégories pourra être objective.

Des instruments socio-économiques incitatifs à une gestion individuelle et communautaire responsable pourront être établis pour renforcer la politique de gestion mise en place. Des mesures répressives et dissuasives seront également établies si nécessité est. La taxe d'enlèvement des ordures ménagères, l'amende pour les infractions environnementales, la prime d'encouragement pour le quartier le plus propre et des redevances peuvent être fixées de manière concertée afin de motiver l'adhésion et la participation sociale. Les besoins d'une assistance externe (partenariat, intercommunalité, leaders locaux) peuvent être logiquement spécifiés et les différentes opportunités de financement mieux exploitées afin de pérenniser les activités et stabiliser les emplois. La connaissance des productions et des évolutions par catégories permettra de tirer la sonnette d'alarme quant à l'hétérogénéisation des poubelles et d'orienter les actions en termes de changement d'habitudes de consommation et de promotion de choix de produits économiquement viables et socialement soutenables.

1.2.3. Enjeux environnementaux et sanitaires

Dans sa thèse, Ben Ammar en 2006 souligne qu'il n'est pas possible d'envisager le traitement d'un produit quelconque dans un procédé industriel, sans connaître au préalable et avec précision sa nature et sa composition. Les déchets ménagers exigent d'autant plus ce souci de caractérisation, qu'ils sont totalement hétérogènes, entre les différentes fractions qui les composent (matières putrescibles, papiers-cartons, verre, etc.) et subissent de grandes variations du fait de l'influence de divers facteurs locaux. Elle ajoute que l'ordure ménagère est en réalité le produit le plus hétérogène qui soit à la surface de la terre, puisque chacune de ses composantes est d'une origine entièrement différente : naturelle et organique ou minérale et chimique issue de la transformation par tous types de procédés industriels. Considérer cette hétérogénéité constitutionnelle des ordures ménagères permet de mieux assoir l'évidence de la multitude des risques. Disposer des données qualitatives des déchets émis dans une localité précise permettra une évaluation judicieuse des risques pour l'homme et l'environnement et de définir les niveaux d'intervention primordiaux. En effet, chaque catégorie de déchets présente des risques potentiels du fait de sa nature, des conditions du milieu, des soins qui lui sont accordés et des transformations subies. Ces risques se multiplient lors du mélange des différentes catégories de déchets soit par leur incompatibilité, soit par l'addition de leurs effets néfastes et leurs contaminations mutuelles. Tout ceci est amplifié par la présence et la prolifération des porteurs de pathogènes (insectes, rongeurs, etc.). De ce fait, les déchets ménagers sont de véritables bombes bactériologiques à fortes concentrations en microorganismes potentiellement dangereux susceptibles de mettre à mal la santé humaine et l'environnement. Toute personne (producteur, gestionnaire et riverain) en contact (cutané, par inhalation, par ingestion) avec les déchets et leurs produits est donc exposée à une multitude de risques sanitaires. Une nette augmentation de certaines maladies liées à l'hygiène a été observée chez les personnes dont les activités étaient en lien direct avec les déchets solides municipaux (balayeurs, charretiers, trieurs, composteur, récupérateurs, etc.) par rapport à leur état avant d'exercer ces activités. Les effets directs et indirects en termes de pollutions et de contaminations des sols, des eaux et de l'air sont souvent observés du fait de l'adoption et de la prolifération de pratiques peu soucieuses de l'environnement.

Connaître la typologie de ces déchets et leurs quantités permettra de mieux prédire leurs comportements en rapport avec les conditions du milieu, les pratiques locales de gestion et d'évaluer les risques qui en découlent afin de prendre des mesures idoines pour les limiter. Cette connaissance permettra également de choisir des filières beaucoup plus respectueuses et protectrices de l'environnement, de la population en générale et du personnel en particulier.

Ces enjeux loin d'être exhaustifs soulignent la nécessité de caractériser les déchets solides municipaux avant d'initier une quelconque gestion. Qu'en est-il des méthodes de caractérisations disponibles ?

1.3. ETAT DE L'ART SUR LES METHODES DE CARACTERISATION

Conscients de l'indispensabilité de la connaissance quantitative et qualitative des déchets pour la mise en place d'une politique de gestion, les pays industrialisés ont développé des méthodes de caractérisation qui abordent ces aspects. Parmi les principales méthodes disponibles de caractérisation des déchets solides municipaux, on distingue les méthodes indirectes et les méthodes directes. Il existe néanmoins des méthodes mises en œuvre et développées pour les PED du fait de l'inapplicabilité des premières méthodes dans ces PED.

1.3.1. Les méthodes indirectes

La plus populaire est la méthode dite « *material flows methodology* » développée par l'Agence américaine de Protection de l'Environnement. Cette méthode se base sur l'analyse des produits mis sur le marché et repose sur le principe suivant :

- Les produits sont commercialisés et consommés puis, après usage, ils sont rejetés en tant que déchets ;
- Si on arrive à connaître avec précision les quantités de chaque produit manufacturé et mis sur le marché ainsi que les durées de consommation respectives de ces produits, alors les quantités de déchets générées pourraient être calculées.

Comme toutes les méthodes théoriques, cette méthode est plus rapide et moins coûteuse, si on la compare aux méthodes d'analyse directe. [8]. Elle présente cependant des inconvénients :

- Elle ne peut qu'être appliquée dans des municipalités totalement urbaines et dans lesquelles les populations se procurent tout ce dont ils ont besoin dans des commerces ;
- Elle ne peut être efficace que si tous les produits commercialisés sont bien répertoriés et les données relatives à leur production et aux taux de consommation locale disponibles ;
- Elle se limite au maillon amont de la chaîne qui est la production des consommables et ne considère que l'une de ses possibilités ;
- Elle ne tient pas compte des facteurs humains et naturels qui sont susceptibles d'intervenir de façon significative sur le cycle de vie des produits de consommation.

1.3.2. Les méthodes directes

Les méthodes d'analyse directe sont basées sur l'échantillonnage et le tri manuel des déchets (dans un secteur donné) pour déterminer leur composition selon des catégories prédéfinies. Ces méthodes reposent généralement sur des protocoles qui définissent les principes d'échantillonnage et de tri lors d'une campagne de caractérisation. Les principales sont : la méthode MODECOM, le Protocole IBGE, le Protocole EPA et le Protocole ARGUS. [8]

a) *La méthode MODECOM*

Cette méthode a été développée par l'Agence Française de l'Environnement en 1994. Elle donne le canevas pour trier un échantillon de 500 kg d'ordures ménagères d'une aire géographique donnée.

L'échantillonnage dans la fosse d'une usine se réfère à la norme NF XP X 30-411 et celui dans une benne à la norme NF XP X30-416. La caractérisation se fait sur le produit sec par tranches granulométriques (100, 20 et 8 mm). Les ordures ménagères sont séparées en 13 catégories (déchets putrescibles, papiers, cartons, complexes, textiles, textiles sanitaires, plastiques, combustibles non classés, verres, métaux, incombustibles non classés, déchets ménagers spéciaux et éléments fins inférieurs à 20 mm); puis en 39 sous-catégories. Il est nécessaire de faire deux campagnes de caractérisation sur une année (été et hiver) et chaque campagne comporte 5 étapes :

- Enquête préalable, permettant de recueillir l'ensemble des données nécessaires à l'organisation d'une campagne d'analyse ;
- Choix des conteneurs ou des bennes de collecte à échantillonner ;
- Constitution des échantillons à trier ;
- Tri de l'échantillon de 500 kg en 13 catégories puis en 39 sous-catégories ;
- Analyses en laboratoire (taux d'humidité, composition, pouvoir calorifique, etc.).

Le coût d'une campagne de caractérisation variait de 5 488 à 8 385 € TTC. [2]

b) Le Protocole IBGE

Ce protocole a été mis sur pieds par l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement en 1995 en partenariat avec l'Agence Bruxelles-Propreté afin d'évaluer le gisement et la composition des déchets ménagers.

L'établissement du bilan global de la production des déchets ménagers pour 1999 repose sur 3 types de données à savoir :

- Les données fournies par les gestionnaires des collectes des déchets ménagers organisées en région de Bruxelles-Capitale. Elles concernent principalement la collecte sélective uni matériau : les quantités collectées via les associations caritatives, via le réseau des bulles à verre, via les coins verts, via les sacs bleus et jaunes, ainsi que les quantités et compositions des déchets collectés via les parcs à conteneurs et la déchetterie régionale ;
- Les données découlant d'une modélisation. Elles concernent l'estimation des quantités collectées des déchets verts, des bottins et des encombrants non caractérisables par la méthode utilisée lors des campagnes compte tenu du caractère saisonnier ou irrégulier de leur production ;
- Les données expérimentales. Ces données concernent la composition des sacs jaunes et bleus, la composition et la quantité collectée via les sacs gris (déchets tout-venant) hors déchets verts, ainsi que la composition des flux issus des bulles à verre.

En ce qui concerne la collecte des données expérimentales, chaque campagne comporte 2 étapes que sont la définition d'un échantillon représentatif de l'ensemble des ménages bruxellois sur base de critères relatifs à l'habitat, la démographie, niveaux socio-économiques ; et la collecte puis l'analyse des poubelles. Les déchets sont au minimum triés en 13 catégories (les mêmes que MODECOM) et les mesures sont faites sur les échantillons

bruts (humides). Les résultats obtenus sont extrapolés à l'année entière et au total des ménages de la région Bruxelles-Capitale. [39]

c) Le Protocole EPA

Il a été développé par l'Agence Irlandaise de Protection de l'Environnement en 1996. La caractérisation est biannuelle comme la dans la méthode MODECOM. L'échantillonnage et la taille de l'échantillon est fonction du nombre de ménages dans la zone d'étude, du type d'habitats, du niveau social et du type du système de collecte utilisé. Sept classes sociales ont été définies et regroupées en trois catégories ; les zones ont été définies selon qu'elles comptent plus de 25 000 ménages, entre 25 000 et 400 ménages, et moins de 400 ménages. La collecte des échantillons se fait à l'aide d'une voiture dans les ménages sélectionnés les jours de la collecte normale mais de façon séparée. Cette voiture est pesée avant puis après la collecte au pont bascule et le poids des déchets totaux obtenu est divisé par le nombre de ménages afin d'avoir la production hebdomadaire moyenne des ménages. Ensuite, les déchets sont ramenés dans un endroit approprié pour la réduction et le tri. L'échantillon à caractériser varie de 1 000 kg à 5 000 kg (soit 50 ménages à 250 ménages à raison d'environ 20 kg/ménage. semaine). Le tri manuel sur échantillon brut (humide) s'effectue sur un échantillon de 100 à 200 kg obtenus après homogénéisation et quartage. Les déchets sont alors répartis suivant 13 catégories (les mêmes que celles de la méthode MODECOM), ensuite suivant 55 sous-catégories et les analyses concernent la teneur en eau, la densité sèche. [11]

d) Le Protocole ARGUS

Il a été développé par l'Agence allemande de l'Environnement en 1979-80 et en 1983-85. Les déchets sont classés en 13 catégories que sont : métaux ferreux, métaux non ferreux, papiers et cartons, verre, plastiques, déchets organiques, bois, textiles, minéraux (autres que verre), composites, déchets dangereux, autres, éléments fins inférieurs à 10 mm. Ces déchets sont ensuite répartis en 41 sous-catégories.

Dans le but d'harmoniser toutes les méthodes européennes, une méthode dénommée REMECOM (Réseau de Mesure Européen des Ordures Ménagères) a été mise au point en 1998 dans le cadre d'un programme européen coordonné par l'ADEME, impliquant 5 pays européens (l'Allemagne, la Belgique, la France, l'Irlande, l'Italie). Cette harmonisation qui a été testée dans 18 villes européennes, a porté essentiellement sur la nomenclature et les procédures de tri. Les méthodes d'échantillonnages par contre sont restées celles propres à chaque pays (développées dans les méthodes nationales). [8]

Toutes ces méthodes ne peuvent cependant être transposées telles quelles au contexte des PED à cause d'une part des différences qui existent entre ces pays et les pays industrialisés dans lesquels ces méthodes sont applicables ; et d'autre part des particularités des PED. La nécessité des méthodes rigoureuses adaptées aux conditions locales des PED a maintes fois été exprimée et certains travaux de recherche se sont penchés dessus. C'est le cas par exemple des thèses de Ben Ammar et de Alouimine en 2006.

1.3.3. Quelques méthodes développées pour les PED

Afin de connaître les ordures ménagères produites dans la capitale mauritanienne, d'évaluer la fraction organique des ordures ménagères qui est valorisée au niveau des ménages et les quantités récupérées à partir des sites de transit, Aloueimine a développé une méthode de caractérisation des ordures ménagères qui opère porte-à-porte, dans les différents quartiers et standings aussi bien pour la saison sèche que pour la saison pluvieuse. Précédée d'une enquête préliminaire, la procédure d'échantillonnage aboutit à la constitution d'un tas d'environ 130 à 150 kg d'ordures ménagères issus de secteurs choisis de façon aléatoire. En effet, la ville a été divisée en trois zones différentes en fonction du niveau de vie des ménages à savoir une zone de haut standing, une zone de moyen standing et une zone de bas standing. Notons que les standings ont été déterminés sur le seul critère habitat. Ces zones ont été ensuite sectorisées de sorte que chaque secteur compte environ 30 ménages. Les ordures ménagères produites pendant 7 jours sont collectées le 8^{ème} jour pour la caractérisation pendant 3 semaines. Le tri manuel sur échantillons bruts a suivi et les ordures ont été réparties selon 13 catégories principales comme dans la méthode MODECOM. Les plastiques ont été en plus répartis en 4 sous-catégories (films PE, PVC, PS et autres). Les caractéristiques physico-chimiques déterminées sont les masses volumiques, l'humidité, la teneur en matière organique (solides volatils), le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et la teneur en métaux lourds. Le coût de cette campagne avoisinait les 1300 €. [3]

La méthode de caractérisation des déchets ménagers consignée dans la thèse de Ben Ammar et dite « *adaptée* » aux PED a été mise au point dans le cadre du Programme de Recherche « Mise en place d'une filière compostage en Tunisie ». Ce programme financé par le Ministère tunisien de la Recherche a été mis en œuvre par le Technopôle de Borj Cedria et s'est appuyé sur la « Plateforme Expérimentale sur les Déchets ». Le programme démarré en Octobre 2003, a bénéficié par ailleurs de l'appui institutionnel et financier de l'Agence française De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Les zones d'échantillonnage ont été identifiées à partir de la sectorisation du Grand Tunis en 5 secteurs dont la population (691250 habitants en 2002) produit environ 94 % des déchets globaux de la région. On y a distingué 3 secteurs résidentiels constitués de ménages de haut, moyen et bas standings ; et deux secteurs commerciaux constitués de ménages de moyen et de bas standings. L'échantillonnage s'est fait sur des bennes choisies au hasard parmi toutes celles desservant ces secteurs. Quatre campagnes de caractérisations ont été menées pour estimer les variations saisonnières de la production des déchets ménagers. Ainsi 600 échantillons de 20 kg au total ont fait l'objet d'un tri dit « *adapté* » comportant 2 étapes. Un tri des déchets bruts en tranches granulométriques à l'aide d'une table à deux coupures (100 et 20 mm), complété par un tri sur ces différentes tranches préalablement séchées à 80 °C jusqu'à stabilisation des masses (environ une semaine). Les déchets ont été répartis en 13 catégories puis en 5 sous-catégories : déchets putrescibles, papiers, cartons, composites, textiles, textiles sanitaires, plastiques (films, bouteilles et flacons, et autres), combustibles non classés, verres, métaux (ferreux et non ferreux), incombustibles non classés, déchets ménagers spéciaux et éléments très fins. Les analyses au laboratoire ont consisté en la détermination du taux de matière organique et des teneurs en métaux lourds dans la fraction fermentescible et dans les fines ; et en la détermination des teneurs en carbone et en azote dans les putrescibles, les papiers et les

cartons. Cette méthode combinant un échantillonnage dit « *optimisé* » et un tri dit « *adapté* » a été présentée comme la solution opérationnelle à toutes les contraintes et spécificités liées aux PED. [8]

Ces deux méthodes loin d'être les seules font ressortir que la méthode de caractérisation est définie selon les projets et des contextes bien clairs ayant très souvent cependant les finalités précises. Si la quasi-totalité des méthodes développées jusqu'à présent l'ont été pour les métropoles et les capitales des PED et y ont été expérimentées, qu'en-est-il des villes secondaires ?

CONCLUSION DU CHAPITRE 1

La gestion des déchets solides en Afrique sub-saharienne demeure une problématique qui prend de plus en plus de l'ampleur face aux taux élevés de croissances des populations, à l'urbanisation galopante et à la diversification des déchets émis. En plus d'une croissance des quantités de déchets solides générés, on assiste présentement à des changements notables des composants mêmes de ces déchets. La réglementation sur la gestion des déchets existe dans tous les pays de la sous-région mais son application se heurte à une diversité des contraintes et réalités physiques et/ou humaines. L'intervention s'est donc avérée urgente et les axes d'intervention dégagés. Si les principaux regroupent les aspects financiers et ceux liés aux conditions de vie des populations, cependant les échecs répétitifs qu'ont essuyés les gestionnaires de déchets solides ont éveillé une conscience timide sur le fait que la connaissance quantitative et qualitative des déchets solides émis constitue un axe d'intervention primordial. A cet effet, plusieurs méthodes de caractérisation existent déjà. Certaines permettent de caractériser les déchets solides de façon indirecte et d'autres permettent leur caractérisation directe. Les plus connues ont été développées dans les pays développés et peuvent être appliquées avec efficacité dans des pays présentant les caractéristiques similaires. Leur inapplicabilité intégrale dans les PED a nécessité la mise sur pieds des méthodes de caractérisation intégrant les contraintes et spécificités de ces derniers. Ainsi, selon les contextes et les finalités, plusieurs méthodes ont vu le jour mais leur harmonisation n'est pas encore initiée du fait qu'elles ne sont pas répertoriées pour la plupart. Les données relatives à certaines grandes villes des PED qu'elles ont permis de disposer sont rarement mises à jour, pourtant les dynamiques urbaines et les changements sociétaux observés nécessitent la mise à jour régulière des méthodes et des données par conséquent. La situation est pire dans les villes secondaires d'autant plus que le processus de décentralisation confère la maîtrise d'ouvrage de la gestion des déchets solides aux communes. L'absence quasi-totale des données relatives aux quantités et aux compositions des déchets solides émis est un obstacle majeur auquel font face les autorités municipales soucieuses d'offrir un environnement sain et propice à un développement local soutenable à travers la gestion des déchets solides. Dans la majorité des cas, les données quand elles sont disponibles, des communes voisines (et même souvent des métropoles) sont utilisées pour surmonter cet obstacle. Les résultats (abandons, échecs perpétuels, etc.) de telles initiatives sont désolants. Afin d'essayer de venir à bout de cette absence de données, l'université de Liège via cette étude s'est proposée de caractériser les quantités et les compositions des déchets solides émis dans un contexte très local qu'est la commune urbaine de Bembéréké.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **ABDOULHALIK F., 2011.** Panorama de la problématique des déchets ménagers. Energie-Francophonie. N° 90-4^{ème} trimestre 2011. IEPF. Gestion des déchets ménagers. Regards croisés. Pp 6-8.
- [2] **ADEME, 1998.** Comment évaluer votre gisement de déchets ménagers ? ADEME, Union européenne, septembre 1998.
- [3] **ALOUËIMINE S. O., 2006.** Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, 195p.
- [4] **Alter Egaux, 2007.** OMD7 : assurer un environnement durable. Alter Egaux, n°27. Mai-juin 2007. Solidarité Socialiste. Belgique, pp. 5-8.
- [5] **Association Nationale des Communes du Bénin, 2005.** Plan de Développement Communal (PDC) 2004-2008 de Bembéréké. ANCB, 62 p.
- [6] **BADO I., 2013.** Le développement durable au cœur des OMD en Afrique. Institut de la Francophonie pour le Développement Durable. Médiaterre.
- [7] **BEMB C. G., 2009.** Le traitement des ordures ménagères et l'agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Bertoua. INJS.
- [8] **BEN AMMAR S., 2006.** Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix des traitements adaptés dans les pays en développement. Résultats de la caractérisation dans le Grand Tunis, mise au point d'une méthode adaptée. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Laboratoire Environnement et Minéralogie. 326p.
- [9] **DCAM, 2005.** État des lieux sur la gestion des déchets dans la commune de Bembéréké. DCAM-BETHESDA.
- [10] **DIABATE M., 2010.** Déchets ménagers : impacts sur la santé et l'environnement en commune I du district de Bamako : cas de Banconi. Mémoire en ligne.
- [11] **EPA, 1996.** Municipal waste characterization. Environmental Protection Agency. Ardavan, Wexford, Ireland. 1996. 27 p.
- [12] **GBINLO R. E., 2010.** Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique sub-saharienne. Cas de la ville de Cotonou au Bénin. Thèse de doctorat. Université d'Orléans, laboratoire d'économie.
- [13] **HENRY A., 2009.** Centralisation, décentralisation et accès aux services urbains : le cas de l'enlèvement des ordures ménagères à Abidjan. Revue belge de géographie. Pp. 425-438.
- [14] **HOUANYE A., 2010.** Redoublement d'efforts pour l'atteinte effective de l'OMD7 pour 2015. Editio. Bulletin mensuel de l'information sur l'eau et l'assainissement au Bénin. Les pages bleues, n°004/décembre 2010, p2.
- [15] **HOUENOU M-J.** De l'état de l'environnement en Afrique. Aide 21-Cote d'Ivoire.

- [16] **HOUNKPATIN R. et KOTTIN M. C., 2009** : la gestion des déchets solides ménagers (DSM) à Cotonou : proposition d'un cadre approprié de planification de la pré-collecte. ENEAM/UAC-DST en planification et aménagement du territoire.
- [17] **HOUNKPODOTE H., 2009**. Analyse multidimensionnelle de la pauvreté au Bénin : une approche par les sous ensembles flous. ENSEA, 27 p.
- [18] **IBGE, 1999**. Bilan global de la production des déchets ménagers de la Région de Bruxelles-Capitale pour l'année 1999, Convention 322 – Rapport final.
- [19] **INSAE, 2003**. Troisième Recensement général de la population et de l'habitat 2002 (RGPH3).
- [20] **INSAE, 2004**. Cahier de villages et quartiers de ville. Département du Borgou. Direction des Etudes Démographiques. 23 p.
- [21] **INSAE, 2005**. Monographie de la commune de Bembéréké. 96 p.
- [22] **INSAE, 2011**. Enquête modulaire intégrée sur les conditions de vie des ménages. 2^{ème} édition. EMICoV 2011. Note sur la pauvreté au Bénin.
- [23] **Institut de la Banque Mondiale, 2001**. Gestion urbaine et municipale en Afrique. Programme conjoint. Programme de développement communal. Afrique de l'ouest et du centre. Dakar, Sénégal du 14 au 26 octobre 2001.
- [24] **Maison de la Société Civile, 2012**. Synthèse du Plan de Développement Communal. Commune de Bembéréké 2011-2015. MdSC, 29 p.
- [25] **MBACK C. N., 2003**. Démocratisation et décentralisation. Genèse et dynamique comparés des processus de décentralisation en Afrique subsaharienne. Karthala-PDM. 528 p.
- [26] **MBODO VANGU T., 2009**. Impact du programme d'assainissement urbain de Kinshasa (PAUK) sur l'environnement. Cas de la commune de Barumbu. Institut supérieur pédagogique de la Gombe. Géographie.
- [27] **MEDEDJI et DJOSSOU, 2007**. Les différentes facettes de la pauvreté au Bénin, Rapport de recherche INSAE-Bénin, 36p.
- [28] **MOULAY C., 2010**. Gestion des déchets ménagers dans les PED : l'urgence d'une assistance. Développement durable.com.
- [29] **NDIAYE S., 2005**. La coproduction de services collectifs urbains en Afrique de l'ouest. Chaire de recherche du Canada en développement des communautés (CRDC). Série : comparaisons internationales n° 22. ISBN : 2-89251-246-8. 25 p.
- [30] **NGAHANE E. L., 2010**. Contribution à l'état des lieux sur la gestion des déchets solides à Bembéréké (Bénin) : caractérisation des quantités et des compositions des déchets émis. Travail de fin d'études, université de Liège, 66 p.
- [31] **ONIBOKUN, 2001**. La gestion des déchets urbains, des solutions pour l'Afrique, Economie et développement, Abuja, Nigéria.

- [32] **PING J. et al., 2012.** Evaluation des progrès accomplis en Afrique dans la réalisation des OMD. Perspectives émergentes en Afrique relativement à l'agenda de développement post-2015. PNUD. Rapport OMD 2012.
- [33] **PNUD, 2013.** L'avenir de l'environnement en Afrique. 3^e édition AEO-3. Notre environnement, notre santé. Résumé à l'intention des décideurs. 31 p.
- [34] **République du Bénin, 2007.** Ministère du développement, de l'économie et des finances. Enquête démographique et de santé (EDSB III-2006). Rapport préliminaire, 39 p.
- [35] **République du Bénin, 2010.** Ministère de la prospective, du développement, de l'évaluation des politiques publiques et de la coordination de l'action gouvernementale : rapport spécial 2010 d'évaluation de la mise en œuvre des OMD au Bénin.
- [36] **République du Bénin, 2010.** Ministère de la santé. Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base (DHAB): appui à la maîtrise d'ouvrage. Guide d'élaboration et de mise en œuvre du Plan d'Hygiène et d'Assainissement Communal. Document principal, 99 p.
- [37] **République du Bénin, 2013.** Ministère du développement, de l'analyse économique et de la prospective (MDAEP) de la: cadre de l'accélération des OMD. Accès à l'eau potable et à l'assainissement de base. 126 p.
- [38] **SOTAMENOU J. et KAMGNIA D. B., 2009.** La décentralisation pour une gestion efficace des déchets solides municipaux de la ville de Yaoundé. Université de Yaoundé II-Soa, faculté des sciences économiques et de gestion, 8p.
- [39] **SQUILBIN C. et DEWULF B., 2002.** Les données de l'IBGE : « les déchets bruxellois-des données pour le plan ». 2002. 6 p. Fiche.
- [40] **SY Ibrahima, 2006.** La gestion de la salubrité en Rufisque (Sénégal) : enjeux sanitaires et pratiques urbaines. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur-Strasbourg. Géographie. 563 p.

CHAPITRE 2

CARACTERISATION ET QUANTIFICATION DES DECHETS SOLIDES EMIS A BEMBEREKE

*On a toujours sacrifié l'essentiel à l'urgence, alors que l'urgence est
l'essentiel...*

Edgar MORIN

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION ET QUANTIFICATION DES DECHETS SOLIDES EMIS A BEMBEREKÉ

2.1. CADRE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

2.1.1. Cadre de la caractérisation des déchets solides à Bembéréké

a) Historique de la gestion des déchets solides à Bembéréké

Les populations de Bembéréké comme partout ailleurs produisent des déchets de par leurs activités. Les déchets produits, de natures diverses, sont laissés aux soins de dame « *nature* ». On assiste à la prolifération des dépotoirs sauvages dans toute l'étendue de la commune. Lorsque ces dépotoirs sont jugés « *ennuyeux* », des volontaires s'en occupent. Il s'agit alors de brûler à l'air libre ces tas d'immondices. Ces pratiques se sont généralisées et sont devenues des occasions de rassemblement des populations pour les causes dites « *communes* ». Lors de ces opérations nommées « *opérations coup de poing* », des familles conjuguent leurs efforts afin de balayer les ruelles, espaces publics et les grandes artères. Les balayures sont emmenées vers les plus proches dépotoirs où elles finissent en cendres.

Convaincus de la nécessité de poursuivre ces actions mais de manière organisée, des porteurs de projet ont évoqué l'idée de mettre en place des structures de salubrité qui auront en charge l'entretien des places publiques et la destruction des dépotoirs sauvages. C'est ainsi qu'à vu le jour, le groupement des femmes AFFERO qui s'investit dans la salubrité de la ville à travers les activités de nettoyage des places publiques. Cependant, la prolifération des dépotoirs s'est accentuée à cause du découragement de certains volontaires, du fait de la non-participation d'une grande proportion des ménages et de la production de plus en plus croissante de déchets. Les dépotoirs réapparaissaient et ce, plus nombreux et plus grands quelques semaines seulement après la destruction des précédents.

Cette situation n'a pas laissé les autorités communales indifférentes. Elles sollicitent alors en 2005, l'appui technique de DCAM (Développement Communautaire et Assainissement du Milieu) de l'ONG Bethesda, pour la réalisation d'une étude de référence sur l'état de salubrité de la ville de Bembéréké. Cette étude révèle que la ville de Bembéréké et plus précisément son centre urbain, est insalubre. La même année, la commune bénéficie de l'appui du PACOB (Programme d'Appui Conseil aux Organisations de Base) qui finance l'élaboration d'un programme de gestion des déchets. Malheureusement, la série d'actions proposées dans ce programme n'a connu aucune tentative de réalisation faute de moyens et de ce fait, l'insalubrité s'accroît au fil des années. Les autorités communales très conscientes de leurs responsabilités en matière de gestion des déchets par le processus de décentralisation, priorisent l'assainissement dans les plans communaux de développement (PDC). Elles élaborent en 2009 le projet de « *Mise en place de la filière de gestion des déchets solides à Bembéréké* », afin d'améliorer premièrement l'état de salubrité du centre urbain.

b) Description du projet « mise en place de la filière de gestion des déchets solides à Bembéréké »

➤ Objectifs et dimension durable du projet

L'objectif général du projet est de contribuer à l'assainissement du cadre de vie des populations du centre urbain de Bembéréké.

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont : (i) élimination des matières fines avant la collecte afin de réduire sensiblement les volumes de la pré-collecte ; (ii) élimination rapide des déchets des habitations et centralisation vers les dépôts provisoires (pré-collecte) ; (iii) recyclage partiel ; (iv) centralisation vers la décharge définitive (collecte).

Des effets bénéfiques sont attendus sur le plan économique (cadre amélioré pour la mise en place de nouvelles activités), social (renforcement institutionnel des intervenants par un programme de formation), culturel (sensibilisation aux enjeux d'un environnement sain).

➤ Résultats attendus du projet

Les principales réalisations attendues au terme de ce projet sont :

- Mise en place de la structure du projet : comité de supervision constitué de deux animatrices, une équipe de balayeurs (es).
- Formation et sensibilisation : formation des animatrices, de l'agent technique et de l'équipe de balayeurs (es) ; sensibilisation de la population.
- Balayage deux fois par semaine pour chaque abonné et réduction des flux de 50% pour 2011.
- Destruction des dépotoirs sauvages.
- Aménagement de 5 centres de regroupement (pré-collecte) : alimentation régulière 2 fois par semaine, évacuation au moins 2 fois par mois, transport des déchets des habitats vers les centres de regroupement assuré par 5 charrettes à bras, mise à disposition de poubelles dans tous les 5 000 foyers du centre urbain.
- Aménagement de la décharge finale (collecte centrale) : réception de tous les déchets des 5 centres de regroupement, mise en place de système statistique (pesée).
- Traitement et suivi administratif du projet : mise à jour des états financiers, taux d'abonnement des ménages de 25 % en 2010 et de 50 % en 2011, taux de recouvrement de 50 % en 2010 et de 75 % en 2011, rapports trimestriels.
- Recyclage partiel des déchets : mise au point d'un tableau statistique pour examiner la composition des déchets et son évolution, compostage des matières organiques à 50 % en 2010 et à 80 % en 2011, recyclage des sacs plastiques en pavés.

➤ Devenir du projet après la fin du financement extérieur

Le projet a été conçu dans l'optique de renforcer les capacités de la commune à mener une politique pérenne en matière de gestion des déchets. La destruction des dépotoirs, l'entretien et le renouvellement du petit matériel, la rémunération des balayeurs et des animatrices pourront être couverts par les recettes d'abonnements, les recettes de vente du compost et des pavés. La commune se voit à même d'autofinancer son activité dès 2012.

c) Description de la zone d'étude

La commune de Bembéréké est l'une des huit (8) communes du Département du Borgou dont elle se situe au centre, qui correspond à la partie Nord-Est de la République du Bénin. Comprise entre 09° 58 ' et 10° 40' de Latitude Nord et entre 02°04' et 03° de longitude Est. Bembéréké s'étend sur une superficie de 3 106 km² et se compose de cinq (5) arrondissements que sont Bembéréké (684 km²), Beroubouay (284 km²), Bouanri (1087 km²), Gamia (360 km²) et Ina (691 km²). L'arrondissement de Bembéréké, chef-lieu de la commune de même nom, constitue la seule entité urbaine. Il compte 24 594 habitants, soit 26 % de la population de toute la commune (94 580 habitants) en 2002. Il est composé de 10 quartiers, le projet vise concrètement les populations de 5 quartiers (urbains au sens strict) que sont : Bembéréké-Est, Bembéréké-Ouest, Gando, Guere et Kossou.

NB : Les populations des quartiers Bembéréké-Est et de Gando ont été revues à la baisse car dans ces quartiers, il existe des hameaux que le projet ne couvre pas. C'est ainsi qu'en 2010, les populations de Bembéréké-Est et de Gando concernées par le projet sont estimées à 3 000 et 3 500 respectivement. Les populations couvertes par le projet, évaluées à 16 716 habitants, sont réparties dans 2 000 ménages environ en 2010.

Les premières connaissances sur les caractéristiques générales des déchets ménagers et assimilés sont issues d'une campagne de caractérisation menée en 2005 par DCAM. La production moyenne des déchets solides à cette époque était 0,55 kg/j.hab. Cette production, majoritairement composée de matières fines (sables, poussières, cendres....) et de matières organiques biodégradables, méritait déjà une attention particulière dans l'organisation et la réalisation de tout projet de gestion desdits déchets.

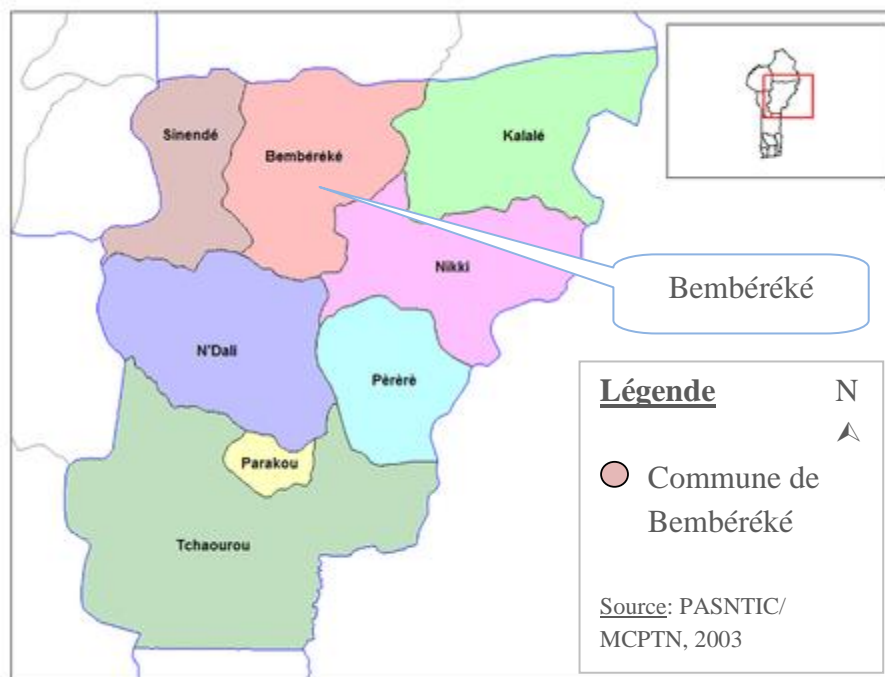


Figure 1 : situation géographique de Bembéréké

Tableau 3 : Estimation de la population d'après extrapolation au taux inter annuel de 4,69 % des données du recensement 2002

| QUARTIER | POPULATION | | |
|-----------------|--------------|---------------|---------------|
| | 1992 | 2002 | 2010 |
| Bembéréké-est | 1 945 | 2 547 | 3 675 |
| Bembéréké-ouest | 1 287 | 2 315 | 3 340 |
| Gando | 3 374 | 4 557 | 6 575 |
| Gueré | 855 | 1 517 | 2 189 |
| Kossou | 1 938 | 3 248 | 4 687 |
| TOTAL | 9 399 | 14 184 | 20 466 |

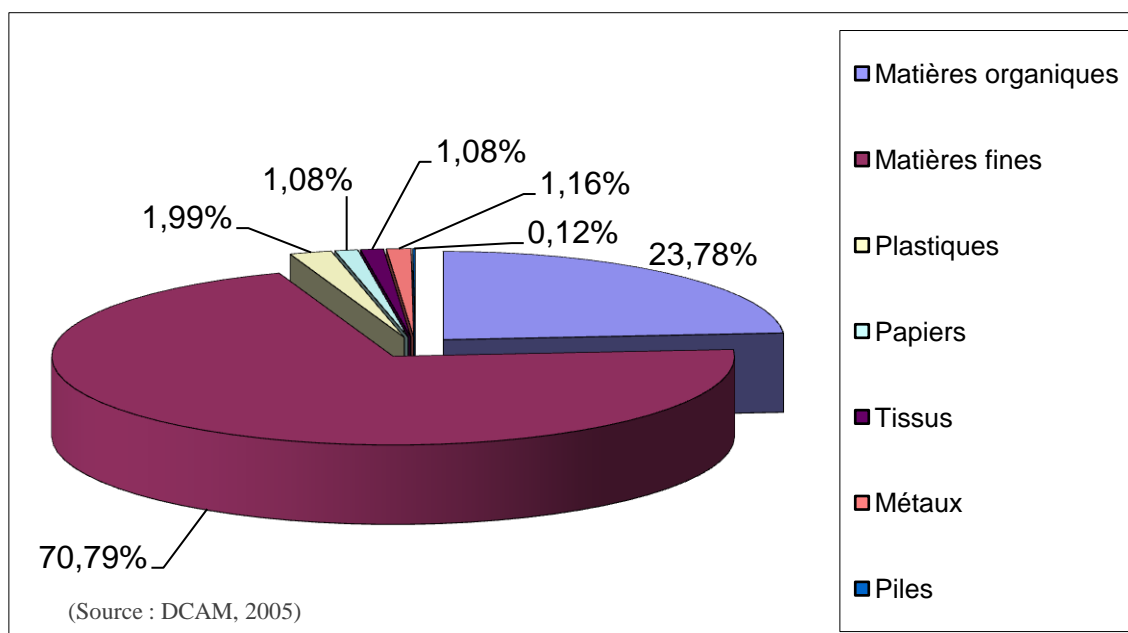


Figure 2 : composition massique des déchets ménagers de Bembéréké en 2005

2.1.2. Approche méthodologique

a) Campagne de reconnaissance et d'information

Après la collecte des informations disponibles via les documents, il était question de sortir de l'abstrait pour aller palper les réalités du milieu et penser les modalités d'intervention possibles. Il s'est agi ici de réunir les informations nécessaires pour l'organisation et le déroulement des enquêtes (auprès des ménages/écoles/services et structures) et des campagnes de caractérisation. Des visites au niveau des quartiers, places publiques et rues, structures administratives nous ont permis d'évaluer l'ampleur de la problématique de la gestion des déchets, de voir le quotidien des populations et de se faire une idée générale sur les catégories des déchets émis. Nous avons visité les infrastructures du projet et certaines d'entre elles, notamment les centres de regroupement des déchets, nous ont servis de sites pour la caractérisation.

b) Zonage de la commune et détermination des ménages à échantillonner

➤ Zonage de la zone d'étude

Le centre urbain de Bembéréké compte des habitations fortement traditionnelles. Ces habitations se suivent sans distinction ou préférence en matière de standing. Les ménages de différents niveaux de vie cohabitent sur l'étendue de la zone d'étude. Il n'existe donc pas de différenciation notable en ce qui concerne le caractère du lieu de résidence. Les zones homogènes retenues ont donc été les unités administratives que sont les quartiers. Les quartiers sont bien scindés et se suivent le long de la route Nationale n° 2. Généralement, une artère ou une piste représente la limite officielle entre les quartiers et les populations locales l'ont assimilé. Chaque quartier a une autorité coutumière reconnue et respectée de tous. Ces autorités traditionnelles collaborent étroitement avec les autorités municipales et sont leur relai auprès des populations. Ainsi, pour éviter la marginalisation, les erreurs sur les caractéristiques des déchets et sur les origines des flux, les travaux ont concerné tous les 5 quartiers que couvre le projet.

Les données sur la répartition des populations au sein des différents quartiers en 2011 ont été obtenues par projection avec un taux de croissance démographique annuel de 4,69 %, des résultats du troisième recensement général de la population béninoise de 2002.

Tableau 4 : répartition des habitants dans la zone d'étude

| QUARTIER | HABITANTS (2011) | PROPORTION (%) |
|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| Bembéréké-Est | 3 141 | 18 |
| Bembéréké-Ouest | 3 496 | 20 |
| Gando | 3 664 | 21 |
| Guere | 2 292 | 13 |
| Kossou | 4 907 | 28 |
| TOTAL | 17 500 | 100 |

➤ Détermination des critères de choix des ménages à échantillonner

Dans la zone que couvre le projet, on dénombre environ 2000 ménages de tous standings confondus. En 2001, d'après l'étude faite par l'institut national de la statistique et de l'analyse économique, la commune comptait 29,5 % de riches (ménages de haut standing) ; 29,9 % de moyens (ménages de moyen standing) et 40,6 % de pauvres (ménages de bas standing). [19] Mais aujourd'hui, les ménages s'appauvrissent de plus en plus du fait de la chute du prix du coton (principale culture de rente) et de la cherté des produits de première nécessité. On compte désormais environ 15 % de riches, 30 % de moyens et 55 % de pauvres. Cet ajustement s'est fait avec l'aide des autorités locales et a été validé par le comité d'organisation du projet. Il pourra être vérifié par les résultats du tout dernier recensement de la population, faite par l'INSAE en 2012.

En fonction des caractéristiques sociodémographiques de la zone d'étude, le nombre de ménages retenus pour les travaux a été déterminé de manière à assurer une représentativité suffisante. La méthode choisie a été l'échantillonnage non probabiliste par quota. [42]. L'échantillon est construit de manière à constituer un modèle réduit de la population sur base

des critères de quotas prédéfinis. Grâce à ces quotas, il est donc possible de remplacer un enquêté (sondé) par un autre qui présente les mêmes caractéristiques sociodémographiques. Elle s'est avérée appropriée face aux problèmes de non-répondants souvent fréquents dans le cadre de l'échantillonnage des déchets ménagers.

Pour notre étude, les quotas retenus de par leur pertinence, leur détermination aisée et leur identification facile, sont : (i) la répartition des ménages selon les quartiers et (ii) la répartition des ménages selon les standings. Une autre caractéristique, à savoir la taille moyenne des ménages dans la zone d'étude a été considérée en plus. Ainsi, certains ménages ont été enquêtés et les ménages échantillonnés ont été choisis parmi ces derniers de façon à ce que le nombre d'habitants dans ces ménages se rapproche au plus de la taille moyenne des ménages dans le secteur d'étude.

Concrètement, l'ensemble des ménages étudiés respectait les quotas (proportions) suivants :

- En ce qui concerne la répartition dans les quartiers, 18, 20, 21, 13 et 28 % des ménages étudiés devraient être localisés à Bembéréké-Est, Bembéréké-ouest, Gando, Guéré et Kossou respectivement ;
- En ce qui concerne la répartition dans les standings, 15, 30 et 55 % des ménages étudiés devraient être de haut, moyen et bas standing respectivement ;
- En ce qui concerne la taille des ménages, chaque ménage échantillonné devrait compter approximativement 8 personnes.

➤ Détermination du nombre de ménages à échantillonner

Nous avons voulu constituer un échantillon représentatif de la zone et duquel, les données obtenues pourraient être facilement extrapolées à la population globale, tout en minimisant les erreurs. Ainsi, sur base du principe d'échantillonnage de Nordtest (1995) cité par Aloueimine en 2006, le taux d'échantillonnage est fixé à 0,05 (50 ménages sur un total de 1000) pour parvenir à une erreur standard de 2,5 %. Ceci revenait donc, pour atteindre un niveau de confiance de 97,5 %, à échantillonner 100 ménages sur les 2000 ménages que compte la zone. Face au problème de non-répondant souvent rencontré lors de telles campagnes, nous avons revu ce chiffre à la hausse afin d'être sûrs de disposer d'au moins des déchets de 100 ménages pour chaque campagne de caractérisation. Au total, 710 ménages ont été enquêtés parmi lesquels 415 ont été échantillonnés.

c) Choix des périodes d'échantillonnage

Puisque à Bembéréké, on distingue deux saisons bien marquées au cours de l'année, nous avons trouvé intéressant de mener deux campagnes de caractérisation afin d'estimer les variations saisonnières des caractéristiques des déchets solides émis. Ainsi, une campagne a été menée pendant la saison sèche, entre février et mars (310 ménages enquêtés parmi lesquels 175 échantillonnés) ; et une autre campagne a été menée pendant la saison pluvieuse, entre juillet et août (400 ménages enquêtés parmi lesquels 240 échantillonnés). La différence saisonnière entre les nombres de ménages étudiés est due au fait que pendant la saison sèche, le taux de récupération des poubelles a été bas et tenant compte de cela, nous avons ajusté le nombre en saison pluvieuse.

d) Méthodologie d'échantillonnage

Pendant chaque campagne, les déchets des ménages retenus au terme de l'enquête ont été recueillis suivant des modalités et un planning précis.

➤ Matériel de disposition des déchets solides ménagers

Les ménages choisis pour l'échantillonnage devaient disposer leurs déchets solides dans des poubelles adéquates que nous leur avons fournies à cet effet. Chaque poubelle et l'habitation correspondante ont été correctement encodées de façon à en assurer la traçabilité et faciliter l'exploitation des données recueillies.

➤ Timing

La durée de remplissage des poubelles dans les ménages était de trois jours consécutifs. Les poubelles étaient distribuées dans ces ménages la veille et les consignes concernant le remplissage données. Les ménages devaient donc disposer dans ces poubelles tous les déchets produits pendant trois jours et le quatrième jour, tôt le matin, ces poubelles étaient récupérées et acheminées vers les centres de regroupement, où elles étaient directement caractérisées. Cette opération a été faite deux fois afin de couvrir six jours différents de la semaine. Le tableau suivant nous l'explique au mieux.

Tableau 5 : timing de l'échantillonnage

| QUARTIER | DEPOT | | REPLISSAGE | | RECUPERATION | |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | <i>Semaine 1</i> | <i>Semaine 2</i> | <i>Semaine 1</i> | <i>Semaine 2</i> | <i>Semaine 1</i> | <i>Semaine 2</i> |
| 1 | D | Me | L, Ma, Me | J, V, S | J | D |
| 2 | L | J | Ma, Me, J | V, S, D | V | L |
| 3 | Ma | V | Me, J, V | S, D, L | S | Ma |
| 4 | Me | S | J, V, S | D, L, Ma | D | Me |
| 5 | J | D | V, S, D | L, Ma, Me | L | J |

(L : lundi, Ma : mardi, Me : mercredi, J : jeudi, V : vendredi, S : samedi, D : dimanche)

➤ Matériel de transport des déchets solides ménagers

Toutes les poubelles récupérées le quatrième jour par les agents de collecte, étaient acheminées au moyen d'un tracteur muni d'une remorque de 4 m³ vers les centres de regroupement en vue de leur caractérisation. L'équipe chargée de l'enquête au sein d'un quartier quelconque procédait également au dépôt des poubelles dans les ménages choisis pour l'échantillonnage, et l'un de ses membres accompagnait les collecteurs lors de la récupération.

Pour récapituler, les déchets ménagers à caractériser sont directement issus des ménages des 5 quartiers que compte la zone de couverture du projet. La répartition des ménages à échantillonner tient compte de la répartition de la population dans les quartiers, de la répartition de ces ménages selon les standings, de la taille moyenne des ménages et des saisons. Le nombre de ménages retenus nous permettra d'extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble de la population avec un niveau de confiance supérieur à 97,5 %. Les périodes d'échantillonnage sont calquées sur les saisons climatiques de la région.

2.2. METHODE DE CARACTERISATION MISE EN PLACE

La méthode de caractérisation mise en place cherche à mettre rapidement et à moindre coût, à la disposition des gestionnaires, des informations générales sur les caractéristiques essentielles des déchets solides ménagers émis à Bembéréké ; et se veut applicable dans les villes secondaires présentant des conditions similaires à celles de Bembéréké.

2.2.1. Description des étapes et opérations

a) *Etape préparatoire*

Cette phase regroupe l'aménagement des sites, la formation/instruction des agents et l'acquisition du matériel nécessaire.

➤ L'aménagement des sites

Les sites choisis pour la caractérisation des déchets ne sont rien d'autre que les centres de regroupement des déchets, d'autant plus que chaque quartier en dispose d'un. Bien que construits par la commune dans le cadre de la réalisation du projet, ces endroits étaient les nouveaux lieux privilégiés d'aisance pour les populations riveraines et les passants occasionnels. En effet, d'une superficie de 1 ha chacun, ces centres sont des terrains vagues clôturés mais accessibles et envahis d'herbes. La présence des excréments d'humains et d'animaux, des plastiques emportés par le vent et des déchets ménagers des riverains attiraient et favorisaient la prolifération des insectes et des rongeurs. Le spectacle qui nous a été livré à l'arrivée dans ces centres était désolant. Il y avait donc lieu de désherber, de se débarrasser au mieux possible des déchets, d'aplanir les espaces nécessaires et de cadenasser les portails afin de sécuriser les sites.

➤ L'instruction et la formation des agents

Pour la caractérisation, nous avons constitué des équipes pour assumer les différentes tâches. Accompagnée d'un enquêteur, l'équipe de collecte, constituée d'un chauffeur et des chargeurs avait pour instruction de passer dans chaque habitation marquée afin de récupérer les poubelles et de les acheminer dans le centre de regroupement du quartier concerné. Ceci devait être fait jusqu'à 8 heures du matin au plus tard.

L'équipe de tri, également responsable de la pesée, était composée de femmes. Elles ont été informées sur les objectifs de l'étude, les attentes en ce qui concerne la minutie du tri et les précautions à prendre quant aux risques encourus (coupures, piqûres, irritation des yeux, ...). Ensuite, nous avons procédé à la définition et à la reconnaissance des composantes des principales catégories de déchets en lesquelles elles devraient répartir les déchets. Enfin, après une explication sur la démarche pour la pesée, des essais ont été faits sur le contenu de poubelles expérimentales (5 poubelles déposées dans des ménages quelconques et récupérées 3 jours après pour la circonstance).

L'équipe de supervision était chargée de diriger les opérations, de prendre des notes et de s'assurer du bon déroulement des travaux.

➤ L'acquisition du matériel

Les conditions locales ont orienté notre choix vers un matériel rudimentaire, disponible et accessible à des prix raisonnables. Nous avons sollicité l'aide financière de la mairie de Bembéréké et la collaboration des commerçants et des artisans pour l'achat et/ou la location du matériel.

b) Mise au point du système de pesée

Pour les pesées, nous disposions des balances à plateau louées aux commerçants locaux pour toute la durée des travaux. Une balance de 100 kg pour les échantillons entiers assez lourds, de balances de 50 kg pour les échantillons entiers moyens et une balance de 5 kg pour les composantes triées. Chaque échantillon pris devrait être entièrement pesé. Chaque catégorie de déchets composant cet échantillon devrait également être pesée distinctement et enfin, chaque catégorie pour l'ensemble des déchets du quartier concerné devrait être pesée, cette fois dans des récipients de capacité connue.

c) Mise au point des opérations de tri et de séchage

Le tri a été effectué manuellement sur le contenu brut de chaque échantillon. Les déchets ont été répartis en 9 catégories. Ces catégories reprennent les 7 catégories en rapport avec la première caractérisation qui a été faite dans la zone en 2005 par DCAM ; et 2 catégories additionnelles apparues récemment dans les déchets ménagers.

Le séchage concernait uniquement la matière organique biodégradable. Des échantillons de cette catégorie ont été prélevés dans des récipients de capacité connue, et pesés. Ensuite, ces échantillons ont été séchés au soleil, par manque d'autres alternatives, jusqu'à la stabilisation de leur masse. Les échantillons ainsi séchés, ont été pesés de nouveau dans des récipients de capacité connue, de manière à disposer de leurs masses et de leurs volumes humides et secs. L'erreur qu'on commet comparativement au séchage recommandé à l'étuve à 105 °C pourrait atteindre 50 % dans certains cas ; ainsi, nous utiliserons le terme de teneur en eau apparente.

2.2.2. Détermination des paramètres de la caractérisation

a) Constitution de l'échantillon à caractériser

Tous les déchets solides provenant des ménages choisis ont été caractérisés. Donc, chaque poubelle récupérée constituait un échantillon. La poubelle (l'échantillon) était pesée, son contenu déversé sur des bâches où il était réparti en 9 catégories, lesquelles catégories étaient ensuite pesées individuellement et puis, chaque catégorie pour l'ensemble du quartier.

Les échantillons de matière organique biodégradable à sécher ont été prélevés, pour chaque quartier, dans un seau de 5 litres, après homogénéisation de tous les déchets de cette catégorie pour l'ensemble du quartier. Cette homogénéisation a consisté en un mélange et retournement des déchets afin de leur conférer une composition moyenne.

b) Détermination des différentes catégories de déchets

Les 9 catégories pour la répartition des déchets ménagers solides retenues sont : les plastiques, les papiers/cartons, les tissus/cuir, les métaux, les piles, les gravats/fines et la matière organique biodégradable (les 7 de la première caractérisation effectuée par DCAM) ; le caoutchouc, les verres/céramiques.

- Les plastiques : ils regroupent les sachets d'emballage, les bouteilles et flacons, les récipients usés, les chaussures et babouches usées, les mèches et rallonges, les cordes et ficelles, les sacs, les ustensiles de cuisine, les objets de décoration, etc.
- Les papiers/cartons : ils regroupent essentiellement les cartons et papiers d'emballage, les bouts de papiers.
- Les tissus/cuir : ils regroupent les habits usés, les chutes de couture, les draps et moustiquaires usés, les chaussures, les sandales locales en peau d'animaux tannée, les sacs, etc.
- Les métaux : ils regroupent les boîtes de conserve, les cannettes, les bouchons de bouteilles, les ustensiles de cuisine, les lames de rasoirs, la ferraille, etc.
- Les verres/céramiques : ils regroupent les tessons de bouteilles, les bris de glace, les bouteilles et flacons, les vieilles vaisselles, etc.
- Le caoutchouc : il est représenté par les frondes et les morceaux de pneus usés.
- Les piles : ce sont essentiellement les batteries alcalines pour le fonctionnement des lampes-torches, des récepteurs-radios, des télécommandes, des appareils photo et des jouets pour enfants.
- La Matière Organique Biodégradable (MO BIO) regroupe les restes alimentaires, les peaux et noyaux de fruits, les épluchures de tubercules, les feuilles et tiges de légumes, les coques de fruits, les gousses d'arachide et de haricot, les feuilles et tiges d'arbre, le charbon, le bois, les excréments, etc.
- Les gravats/fines : ils regroupent les pierres, les cailloux, les poussières, les cendres, les petits charbons, des brindilles de bois, etc.

c) Caractéristiques recherchées

- Les productions massiques et volumiques journalières

Elles s'expriment en kg/j.hab et l/j.hab, respectivement. Elles devraient être exprimées pour l'ensemble des déchets solides et pour chaque catégorie et ce, dans chaque standing et chaque saison pour chacun des quartiers et pour l'ensemble de la zone d'étude. D'elles pourront être déduites, par extrapolation, les productions mensuelles, annuelles et bien d'autres valeurs.

- Les masses volumiques apparentes

Exprimées en kg/m³, elles sont obtenues en pesant un récipient de contenance connue rempli de déchets bruts, non compactés et non tassés. Cette valeur doit être déterminée pour chaque catégorie des déchets solides et pour l'ensemble des déchets, et ce, pour chacune des saisons.

➤ La teneur en eau apparente de la MO BIO

Elle s'exprime en %. C'est encore le taux d'humidité de la MO BIO.

Il aurait également été judicieux de déterminer les tailles granulométriques, le taux d'humidité et le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets ménagers à Bembéréké. Mais les contraintes temporelles, économiques et techniques ; ne l'ont pas permis. Cependant, à partir des données produites, plusieurs valeurs pourraient être calculées ou déduites ; des projections et simulations pourraient être envisagées ; bref, elles pourraient servir de base pour d'autres travaux.

2.2.3. Caractérisation des déchets de marchés

Le centre urbain de Bembéréké a un marché qui se tient tous les jours de la semaine. Les jeudis, jours d'activités maximales, on y retrouve les commerçants de toute la région. Les activités sont diverses et regroupent la vente des denrées alimentaires, des vêtements, d'appareils, d'objets divers et on y preste également d'autres services (réparation des chaussures, couture, échange de livres et de films, réparation d'appareils, soudure, prestations musicales, promotion de produits,...). Les lundis, jours d'activités moyennes, on y vend uniquement des denrées alimentaires (marché alimentaire). Les autres jours de la semaine, on y développe une activité minimale. Ces différentes activités conduisent à une production considérable de déchets dont la gestion est actuellement confiée à une structure privée locale. Cette gestion se résume au balayage, à l'évacuation (dans de rares cas) et au brûlage desdits déchets. La méconnaissance de ce flux de déchets et sa mauvaise gestion dans la plupart des villes en Afrique subtropicale, nous ont poussés à sa caractérisation. En plus de cela, dans le cas de Bembéréké, lorsque ces déchets sont évacués, ils rejoignent la chaîne de gestion des déchets ménagers.

Pour cette caractérisation, il nous a fallu évacuer premièrement tous les déchets accumulés pendant plus de 3 mois. Cette première étape a été pénible et longue du fait de l'importance remarquable de tas de déchets. Ensuite, nous avons organisé le balayage du marché tous les mardis et vendredis pendant 3 semaines et réalisé la caractérisation des déchets émis. Les déchets regroupés après le balayage étaient directement pesés et acheminés à l'aide de charrettes vers le centre de regroupement le plus proche. Après homogénéisation de tous les déchets reçus au centre de regroupement, un quart de ces déchets a été trié pour la répartition en les mêmes 9 catégories que celles des déchets ménagers. Chaque catégorie était pesée afin de disposer de la composition moyenne desdits déchets. Nous avons ainsi estimé la production hebdomadaire et exprimé cette production par rapport au nombre de commerçants. Pour ce faire, le nombre de commerçants présents lors de chaque marché a été obtenu à l'aide des droits de place (tickets) que tout commerçant doit payer pour étaler quoique ce soit. Cette information a été jugée fiable car les gestionnaires de cette place commerciale arrivent de toute façon à faire payer tous les commerçants.

2.2.4. Ressources mobilisées

a) *Ressources humaines*

La disponibilité des personnes et leur engouement (bien que motivées par la rémunération), pour toute la durée des travaux, ont été remarquables. C'est ainsi que :

- Pour l'enquête et la distribution des poubelles dans les ménages, nous avons eu recours aux délégués de quartiers et à leurs adjoints, en plus des 2 animatrices recrutées dans le cadre du projet. Au total 14 personnes ;
- Pour la récupération des poubelles et leur acheminement aux sites pour la caractérisation, nous avons eu recours en plus des accompagnateurs, désignés parmi les 14 personnes susmentionnées, à un chauffeur et à 3 chargeurs ;
- Pour la pesée, le tri et le choix des échantillons à sécher, nous avons eu recours à 4 femmes ;
- La prise de notes et la supervision étaient assurées par les 2 animatrices et ma personne.

En ce qui concerne la caractérisation des déchets de marchés, l'évacuation des déchets accumulés avant nos travaux a été assurée par 5 hommes (1 chauffeur et 4 chargeurs) ; le balayage a été assuré par un groupe d'une trentaine de femmes ; la pesée et le tri ont été assurés par les 2 animatrices ; l'acheminement des déchets vers le centre de regroupement le plus proche a été assuré par 2 charretiers ; la prise de notes et la supervision ont été assurées par ma personne.

b) *Ressources matérielles*

- Pour l'enquête, nous avons utilisé des rames de papiers, des stylos à billes, des marqueurs et de la craie.
- Pour l'échantillonnage, nous avons utilisé 415 poubelles, des rouleaux de ficelles, 2 charrettes de 1 m³ chacune et un tracteur muni d'une remorque de 4 m³.
- Pour la caractérisation, nous avons utilisé : 4 balances à plateau, 4 seaux de 30 litres, 4 seaux de 7 litres, 2 seaux de 5 litres, des bâches, des balais, des houes, des pelles, des râpeaux, des gangs, des cache-nez, des bottes.
- En ce qui concerne les infrastructures, nous avons eu recours aux centres de regroupement des déchets solides.

c) *Ressources financières*

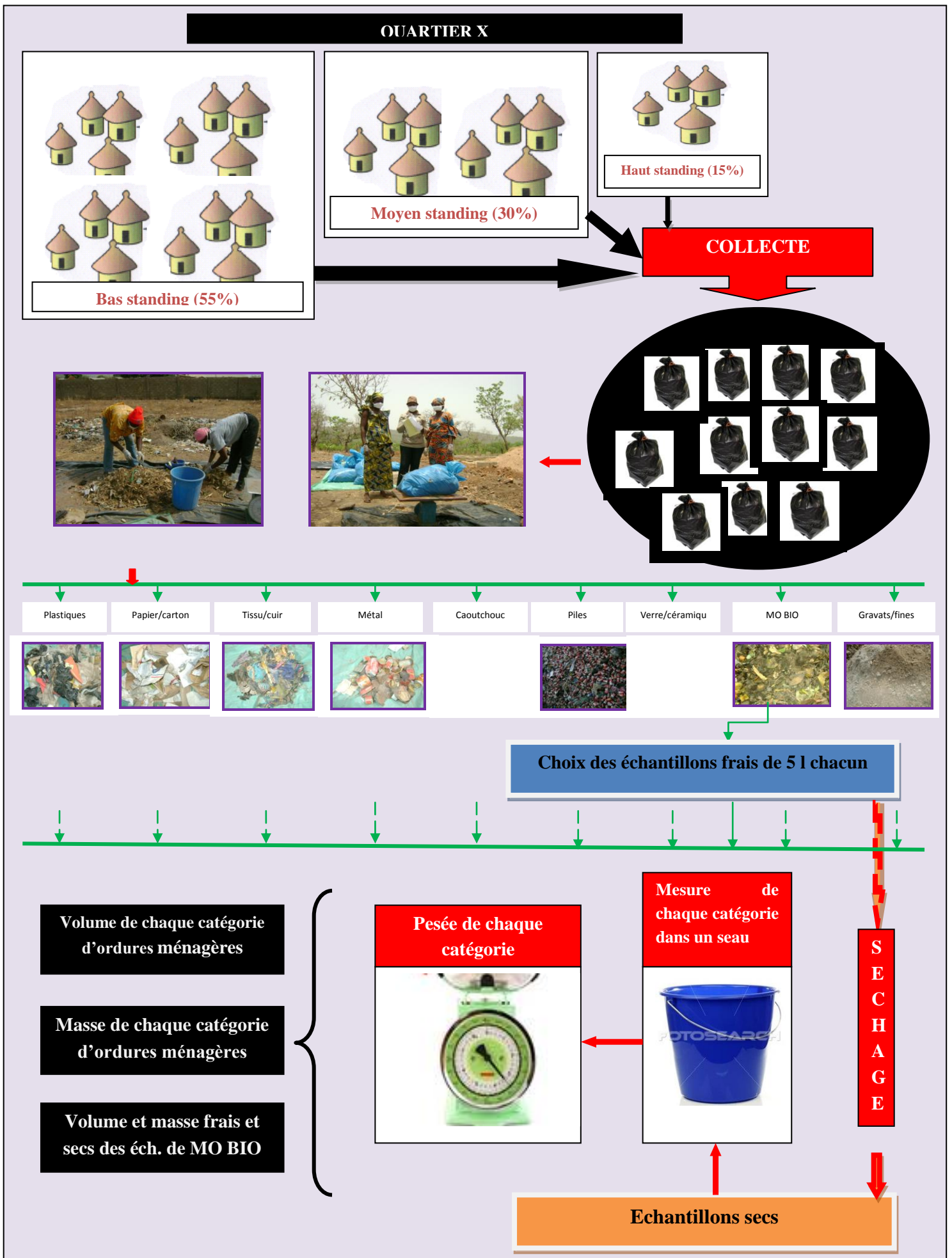
Elles ont été mobilisées pour l'achat et la location du matériel, pour la carburation du tracteur, pour la couverture des frais de déplacement et pour la rémunération des agents.

- Achat du matériel : forfait de 20.0000 FCFA ;
- Location des balances : 500 FCFA la journée ;
- Carburatation du tracteur : 5.000 FCFA la journée ;
- Déplacement des équipes : 2.000 FCFA la journée ;
- Rémunération des enquêteurs : 25 FCFA par fiche remplie ;

- Rémunération des trieuses : chaque trieuse recevait 2.000 FCFA pour une journée de travail (de 8h à 12 h);
- Rémunération des chargeurs : chaque chargeur recevait 1000 FCFA pour une journée de travail (de 6h à 8h);
- Rémunération du chauffeur : 1000 FCFA la journée (de 6h à 8h);
- Rémunération des balayeuses : forfait de 50.000 FCFA pour la campagne.
- Rémunération des charretiers : chaque charretier recevait 1000 FCFA pour une journée de travail (de 8h à 10h);
- Rémunération des délégués de quartier et de leurs adjoints : 5.000 FCFA/personne.

Le coût d'une telle campagne de caractérisation avoisinait alors 550.000 FCFA, soit 832 € environ. On constate donc que, bien organisée, une telle campagne représente un coût faible en regard des informations récoltées et au vu des risques financiers d'investissements mal choisis.

Schéma récapitulatif de la campagne de caractérisation



2.3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

2.3.1. Résultats d'enquête et interprétation

Tous les ménages enquêtés (710 ménages) ont répondu à toutes les questions de la fiche. L'exploitation des informations recueillies a permis de poser un diagnostic sur les conditions de vie des ménages et sur les pratiques locales en rapport avec la gestion des déchets ; de recueillir les attentes et les suggestions des populations à propos du projet.

a) *Conditions de vie des ménages et pratiques locales en rapport avec la gestion des déchets solides*

➤ Activités génératrices de déchets ménagers

Les conditions générales de vie dans la zone d'étude sont conformes à celles consignées dans la monographie datant de 2005, avec quelques légères variations. L'habitat dans la zone d'étude, comme dans la région et dans l'ensemble du Bénin, est majoritairement communautaire. Les ménages sont regroupés dans des concessions de type familial. Le chef de famille, très souvent polygame, attribue à chaque épouse et à ses enfants une case. On rencontre également dans ces concessions, en plus du chef du ménage et de ses épouses, des locataires. Cependant, la cour est commune et chaque unité familiale gère les déchets qu'elle produit. Dans la majorité des concessions, est pratiquée au moins une petite activité commerciale ou artisanale. Il s'agit très souvent de la restauration, des échoppes, de la vente d'eau glacée et des glaces, de la vente des denrées alimentaires (ignames, produits congelés, fruits, légumes, etc.), de la couture, de la coiffure, du tissage des pagnes, etc. Ce sont les femmes et les jeunes filles que l'on retrouve à la tête de ces activités ; en plus de la tenue correcte du foyer (entretien, cuisine, vaisselle, lessive, approvisionnement en eau, approvisionnement en bois, etc.) et de la vacation aux travaux champêtres. Toutes ces occupations génèrent quotidiennement des déchets.

➤ Matériel de stockage des déchets ménagers

Presque tous les ménages de la zone d'étude disposent des poubelles, bien que non conventionnelles pour entreposer leurs déchets. Ce sont généralement de vieux récipients, de sacs usés et des cartons. Ces récipients sont très dangereux pour les enfants qui les manipulent lors de l'évacuation desdits déchets. Les poubelles sont entreposées près des cuisines traditionnelles où elles sont à la merci des animaux domestiques et parfois des intempéries.

➤ Fréquence de sortie des déchets ménagers

Les déchets produits par les ménages sont évacués le plus tôt possible. En effet, à Bembéréké, 54 % des ménages en moyenne sortent leurs déchets quotidiennement, tandis que 33 % les sortent tous les 2 jours et seulement 13 % les sortent 2 fois par semaine.

➤ Répartition des ménages par rapport au dépotoir sauvage le plus proche

Les déchets ménagers produits sont évacués et jetés dans les dépotoirs sauvages ou espaces vides les plus proches des habitations. C'est ainsi que, 30 % des habitations sont distantes de

moins de 10 m du dépotoir le plus proche ; 44 % des habitations sont distantes de 10 m à 50 m du dépotoir le plus proche et 26 % des habitations sont distantes de plus de 50 m du dépotoir sauvage le plus proche. Les habitants cohabitent presque avec les déchets qu'ils produisent.

➤ Disposition des ménages à l'abonnement à une structure de pré collecte

La disposition des ménages à s'abonner à un service de pré-collecte des déchets a également été examinée. Il en ressort que 83 % des ménages enquêtés désirent s'abonner au service. La majorité de ces ménages salue cette initiative et trouve que leur abonnement est la façon la plus directe de l'exprimer, le paiement de la taxe d'enlèvement des ordures ménagères serait leur contrepartie pour le service reçu et leur participation à la durabilité du service.

Seuls 17 % des ménages ne désirent pas s'abonner au service. Les principales raisons évoquées sont de 4 types. Il s'agirait à 53 % de la qualité du service. Ceci laisse penser que la structure de pré-collecte devra faire ses preuves pour susciter l'abonnement des réticents. Par contre 33 % des ménages ne désirant pas s'abonner évoquent le montant élevé de la taxe d'enlèvement des ordures ménagères (250 FCFA/mois) instituée de commun accord avec les populations. 13 % des ménages ne désirant pas s'abonner dénoncent l'absence de l'offre de ce service. Ceci pourrait laisser comprendre que si le service de pré-collecte est proposé, ils s'abonneraient. Pour le reste des ménages (1 %) ne désirant pas s'abonner, ils se justifient par la présence d'un trou ou d'une fosse pour l'enfouissement des déchets dans la concession.

b) Attentes et suggestions des populations cibles

Le projet est considéré comme une très bonne initiative par les populations locales ; cependant, elles restent sceptiques. Les attentes et suggestions sont formulées en termes de généralisation, de qualité et de durabilité des activités notamment :

- l'amélioration de l'accessibilité des ménages les plus reculés des principales artères de la ville et la généralisation du service de pré-collecte dans tous les quartiers que compte la ville ;
- la destruction de tous les dépotoirs sauvages, la sensibilisation rapprochée et régulière des populations ; l'installation des comités de surveillance dans chaque quartier ;
- la disponibilité de poubelles conformes dans les ménages et la reformulation de la TEOM pour les concessions comptant plusieurs ménages ;
- l'obligation à l'abonnement au service et l'instauration d'une amende pour les contrevenants et des mesures incitatives pour les assidus (primes, récompenses,...) ;
- la formation des agents de pré-collecte, la définition, la reconnaissance de leur statut pour la fourniture d'un service de qualité de façon ponctuelle et régulière ;
- le retour constant d'informations, la communication et la collaboration entre toutes les parties prenantes pour amplifier les actions.

A Bembéréké, les déchets solides ménagers sont constitués de deux types de déchets. Nous avons d'une part, les ordures ménagères au sens strict et, d'autre part, les déchets assimilés provenant des activités microéconomiques pratiquées à l'intérieur du périmètre domiciliaire. La vie est communautaire et les habitudes traditionnelles perdurent. La femme occupe une place de choix dans les affaires du foyer et de la société en général. Dans ces régions où l'Islam est pratiqué par la majorité, la prédominance consécutive de la polygamie contraint chaque concubine à s'occuper de son mari et de ses enfants. Les ressources et les opportunités bien que limitées, donnent à ces femmes d'être dynamiques pour subvenir aux besoins primordiaux que sont l'alimentation, la santé et l'éducation. Peu à peu conscientisées sur les bienfaits d'un environnement sain ; elles accueillent bien le projet de mise en place d'une filière de gestion des déchets et sont prêtes à s'investir pour autant que la durabilité et la bonne qualité des services soient assurées.

2.3.2. Résultats d'échantillonnage et interprétation

a) Répartition des ménages échantillonnés

Les ménages échantillonnés ont été répartis en fonction des proportions des ménages dans les quartiers et dans les standings par rapport à l'ensemble des ménages. Pour la campagne effectuée pendant la saison pluvieuse, lors de laquelle 240 ménages ont été échantillonnés, nous avons la répartition consignée dans le tableau qui suit.

Tableau 6 : répartition (%) des ménages échantillonnés

| QUARTIERS | Nombre d'habitants | Proportion (%) | Haut standing (15%) | | Moyen standing (30%) | | Bas standing (55%) | | TOTAL | |
|--------------|--------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------|----------------|
| | | | enquêtés | échantillonnés | enquêtés | échantillonnés | enquêtés | échantillonnés | enquêtés | échantillonnés |
| Béké-Est | 3141 | 18 | 15 | 7 | 22 | 13 | 39 | 23 | 72 | 43 |
| Béké-Ouest | 3496 | 20 | 12 | 7 | 24 | 15 | 44 | 26 | 80 | 48 |
| Gando | 3664 | 21 | 13 | 8 | 25 | 15 | 46 | 28 | 84 | 51 |
| Gueré | 2292 | 13 | 8 | 5 | 16 | 9 | 28 | 17 | 52 | 31 |
| Kossou | 4907 | 28 | 17 | 10 | 34 | 20 | 61 | 37 | 112 | 67 |
| TOTAL | 17500 | 100 | 61 | 37 | 121 | 72 | 218 | 131 | 400 | 240 |

b) Taux de récupération des poubelles

Pour les deux campagnes effectuées, nous obtenons un taux de récupération moyen de 79 % (327 poubelles récupérées/415 poubelles déposées). En effet, pendant la saison sèche, nous n'avons pu récupérer que 67 % des poubelles déposées dans les ménages.

Des mesures ont été prises pour améliorer ce taux pendant la saison pluvieuse, où il est passé à 87 %. Avec ce taux de récupération satisfaisant, 93 % des poubelles récupérées ont été caractérisées.

c) Principales difficultés rencontrées

- Au niveau des concessions, nous ne pouvions pas toujours choisir tous les ménages qu'elles abritent pour échantillonner. Alors, les ménages choisis pour l'échantillonnage étaient jaloués par les autres et dans les poubelles octroyées, il était possible d'y retrouver les déchets de toute la concession. Pour éviter cela, des consignes spéciales étaient données auxdits ménages qui ont pu les appliquer tant bien que mal.
- Le premier jour de remplissage, nous avons remarqué que les ménages ne mettaient pas tous les déchets qu'ils produisaient dans les poubelles. Ils faisaient une différence entre ce qui doit être vu ou pas. Cela a nécessité une descente sur le terrain pour rectifier ces suppositions et spécifier que nous avons besoin de tout ce qui aurait été jeté dans les dépotoirs sauvages sans notre intervention.
- Le jour de la récupération, parfois ce sont les chargeurs qui devaient s'occuper de la fermeture des poubelles, cela leur faisait perdre énormément de temps. Il était important de bien fermer les poubelles à cause de l'instabilité de la remorque et du mauvais état des voies d'accès aux ménages. Certains ménages ne voulaient pas remettre les poubelles, du fait qu'elles n'étaient pas assez chargées à leur convenance. Certaines poubelles récupérées n'ont pas pu être caractérisées en raison d'une traçabilité insuffisante. En effet, certaines poubelles encodées remises aux ménages ont été échangées par de vieux sacs ; et le contenu des autres poubelles ne reflétait pas la réalité du ménage, par rapport aux informations obtenues lors de l'établissement de l'état des lieux.
- Pour les poubelles non récupérées, certains ménages ne les ont pas remplis car ils estimaient qu'elles étaient très précieuses pour l'usage qu'on leur demandait d'en faire. Certaines poubelles ont été volées pour des usages ultérieurs. Certains ménages n'ont remis leurs poubelles qu'une fois sur les deux semaines de campagne.

L'échantillonnage s'est donc relativement bien déroulé mis à part ces quelques difficultés. Les ménages se sont prêtés à l'exercice et leur attitude laisse entrevoir le souhait que ce projet vienne améliorer la situation de salubrité de la ville. Toutefois, la sensibilisation de proximité et les conditions d'habitat sont à prendre en considération.

2.3.3. Caractéristiques des déchets ménagers et interprétation

Le traitement et l'analyse des données obtenues lors de la caractérisation des déchets ont permis d'exprimer la production, la composition et certaines caractéristiques physico-chimiques desdits déchets en fonction des facteurs potentiels de variation choisis que sont : la saison, le quartier et le standing.

Une analyse statistique nous a permis ensuite de nous prononcer sur la significativité des variations observées. Aussi, une projection des caractéristiques de ces déchets à l'horizon 2015 a été faite sur base de leur taux de croissance apparent entre 2005 et 2011. Les résultats ici présentés, sont obtenus à partir des échantillons bruts (humides).

a) *Caractéristiques saisonnières des déchets ménagers*

➤ Production saisonnière des déchets ménagers

À Bembéréké en 2011, un habitant produit en moyenne en saison sèche 0,99 +/- 0,16 kg/j de déchets ménagers contre 0,87 +/- 0,19 kg/j en saison pluvieuse. Cette production des déchets ménagers à Bembéréké est plus élevée en saison sèche qu'en saison pluvieuse. C'est également le cas à Nouakchott où en saison sèche, la production est de 0,23 kg/j.hab contre 0,19 kg/j.hab en saison pluvieuse. [3]. Cela peut trouver son explication par le fait qu'à Bembéréké tout comme à Nouakchott, plus de la moitié des ménages ont des animaux domestiques (moutons, bœufs, porcs, volailles, chiens, etc.), qui pendant la saison pluvieuse sont gardés en captivité dans les concessions afin d'éviter les dégâts aux cultures pluviales. Ces animaux ainsi en captivité s'alimentent de matières fermentescibles et de cartons, contribuant ainsi à la diminution du contenu des poubelles. Une autre explication serait le fait que les habitants occupés aux travaux champêtres pendant la saison pluvieuse, apprêtent et mangent majoritairement leurs repas dans les champs et y valorisent les matières fermentescibles.

Pour les deux saisons, ce sont les ménages de la classe moyenne qui produisent plus de déchets. Ils sont suivis par les ménages de bas standing, les ménages de haut standing produisant moins de déchets que les autres. En ce qui concerne les quartiers, ce sont les quartiers Bembéréké-Ouest et Guéré qui produisent le plus de déchets ménagers pendant la saison sèche ; les quartiers Bembéréké-Est et Gando détiennent la palme de la production en saison pluvieuse. Les détails sont consignés dans le tableau qui suit.

Tableau 7 : production massive saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké

| PRODUCTION MASSIQUE (kg/j.hab) | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------|------|-------------|------------------|------|------|-------------|
| QUARTIER | SAISON SECHE | | | | SAISON PLUVIEUSE | | | |
| | HS | MS | BS | Moyenne | HS | MS | BS | Moyenne |
| Béké-Est | 0,71 | 0,96 | 0,99 | 0,91 | 0,84 | 0,96 | 1,31 | 1,14 |
| Béké-Ouest | 1,06 | 1,36 | 1,11 | 1,17 | 0,67 | 0,96 | 0,61 | 0,74 |
| Gando | 0,81 | 1,16 | 0,95 | 0,99 | 0,96 | 1,21 | 0,92 | 1,00 |
| Guéré | 1,23 | 1,22 | 0,73 | 1,11 | 0,55 | 0,52 | 0,83 | 0,71 |
| Kossou | 0,61 | 0,55 | 1,04 | 0,76 | 0,42 | 0,93 | 0,76 | 0,76 |
| PRODUCTION MOYENNE | 0,88 | 1,05 | 0,96 | 0,99 | 0,69 | 0,92 | 0,89 | 0,87 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,26 | 0,31 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,26 | 0,19 |

La production saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké a également été exprimée en termes de volume dans chaque quartier et une moyenne pour la zone d'étude a été calculée. Ainsi, à Bembéréké, chaque habitant produit en moyenne 1,7 +/- 0,3 l/j de déchets ménagers en saison sèche contre 2,1 +/- 0,4 l/j en saison pluvieuse. Cette production est majoritaire dans les quartiers Bembéréké-Est et Bembéréké-Ouest.

Tableau 8 : production volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké

| PRODUCTION VOLUMIQUE (l/j.hab) | | |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| QUARTIER | <i>SAISON SECHE</i> | <i>SAISON PLUVIEUSE</i> |
| Béké-Est | 2,0 | 2,7 |
| Béké-Ouest | 2,0 | 2,2 |
| Gando | 1,7 | 1,7 |
| Gueré | 1,7 | 1,8 |
| Kossou | 1,2 | 1,9 |
| PRODUCTION MOYENNE | 1,7 +/- 0,3 | 2,1 +/- 0,4 |

➤ Composition saisonnière des déchets ménagers

La production des déchets ménagers obtenue a été répartie en 9 catégories principales. La composition massique des déchets ménagers à Bembéréké est dominée par les gravats/fines et la MO BIO pendant les deux saisons ; cependant, les habitants de Bembéréké les produisent plus en saison sèche qu'en saison pluvieuse. C'est l'inverse pour les plastiques, les papiers/cartons. La valorisation de la MO BIO par le bétail ou dans les champs laisserait penser que les ménages produiraient pendant la saison pluvieuse plus de MO BIO que celle qui est retrouvée dans les poubelles. Le dénuement modéré des cours en saison pluvieuse peut expliquer la baisse des quantités des gravats/fines dans les poubelles pendant cette saison. En effet, cette composante des poubelles est issue majoritairement des balayages répétitifs des cours d'habitation, qui contribuent à l'arrachement et au soulèvement des particules du sol. Or, pendant la saison pluvieuse, ces balayages sont limités et les particules adhèrent mieux au sol grâce aux particules d'eau, ceci limiterait leur présence dans les poubelles.

Les déchets ménagers à Bembéréké sont majoritairement composés, en volume, de MO BIO, de gravats/fines en saison sèche comme en saison pluvieuse. Cependant, on note aussi des productions volumiques considérables de plastiques et de papiers/cartons. Mais en saison pluvieuse, les habitants produisent en termes de volume, moins de gravats/fines en saison pluvieuse qu'en saison sèche ; c'est l'inverse pour toutes les autres catégories. Les résultats sont consignés dans les figures qui suivent.

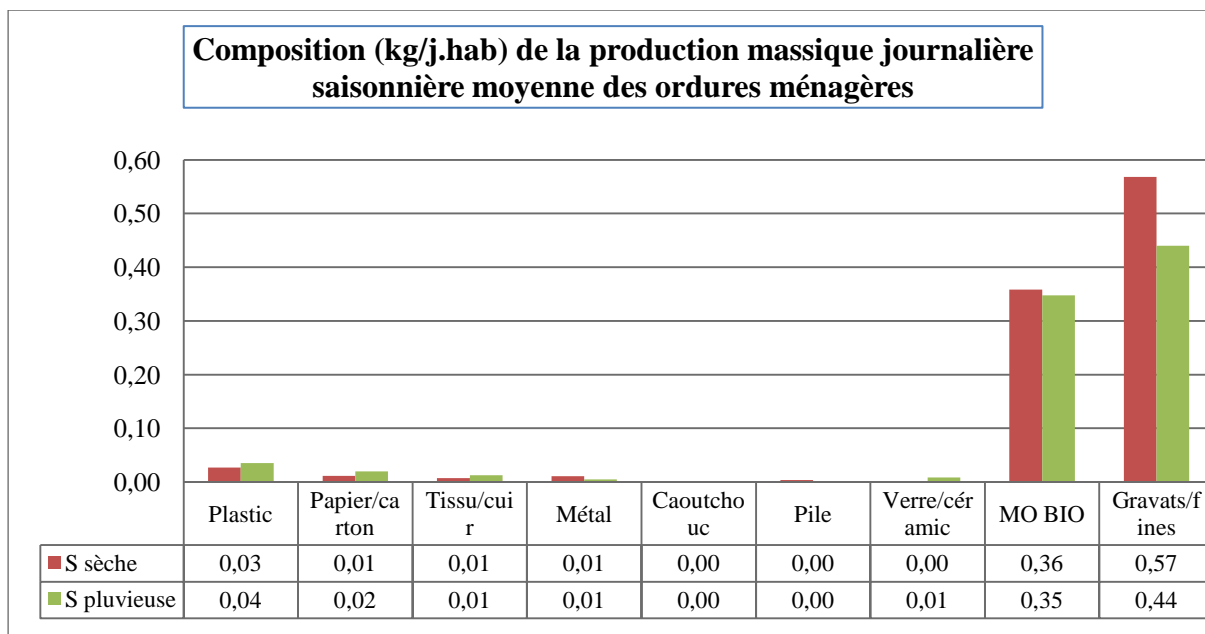


Figure 3 : composition massique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké

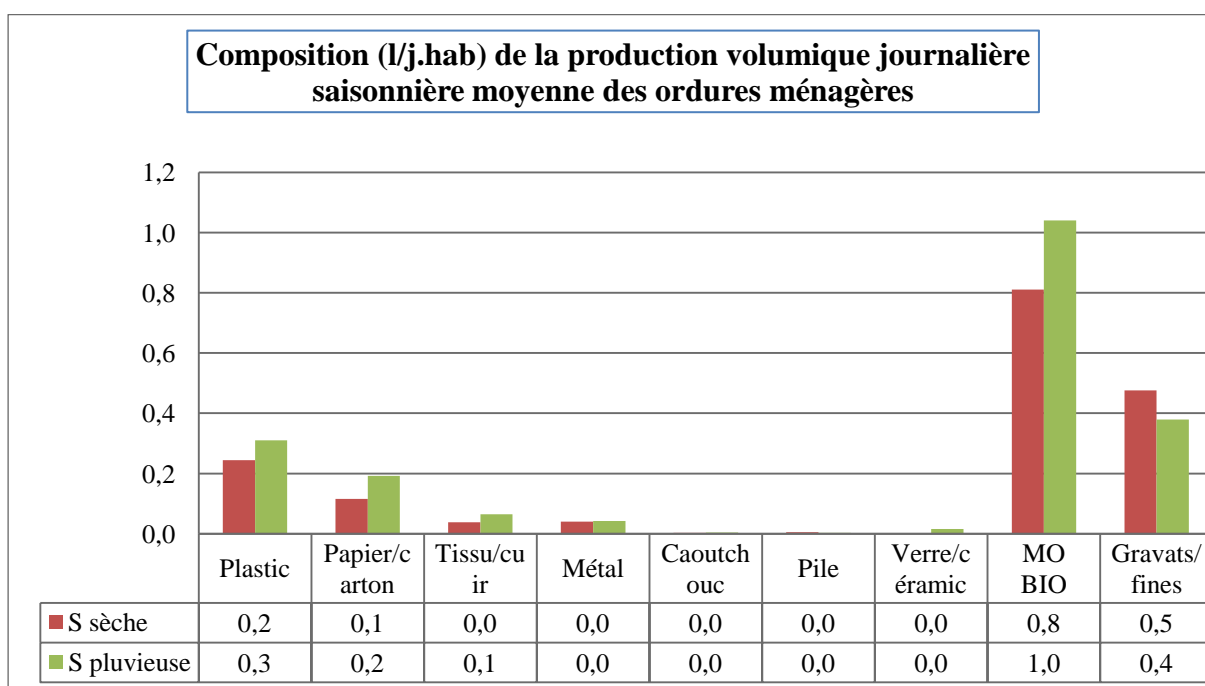


Figure 4 : composition volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké

L'expression de la composition des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des standings révèle qu'elle n'est pas typique d'un standing quelconque. En effet, la production des gravats/fines est majoritaire dans les ménages de bas standings pendant la saison pluvieuse ; alors que pendant la saison sèche, elle l'est dans les ménages de moyen standing. Ces derniers produisent aussi plus de MO BIO en saison sèche, pourtant en saison pluvieuse, ce sont plutôt les ménages de moyen standing.

Lorsque nous regardons cette composition massique en fonction des quartiers, il en ressort que la production de MO BIO s'amointrit ou s'équilibre dans tous les quartiers entre la saison sèche et la saison pluvieuse, sauf à Bembéréké-Est où elle augmente. Tandis que la production des gravats/fines connaît une croissance entre la saison sèche et la saison pluvieuse dans les quartiers Bembéréké-Est et Gando, on note une diminution remarquable de cette production entre la saison sèche et la saison pluvieuse dans les autres quartiers. Les tableaux qui suivent, présentent les résultats.

Tableau 9 : composition massique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des standings

| PRODUCTION MASSIQUE (kg/j.hab) | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------|------|-------------|------------------|------|------|-------------|
| QUARTIER | SAISON SECHE | | | | SAISON PLUVIEUSE | | | |
| | HS | MS | BS | Moyenne | HS | MS | BS | Moyenne |
| Gravats/fines | 0,41 | 0,64 | 0,59 | 0,57 | 0,31 | 0,42 | 0,48 | 0,44 |
| MO BIO | 0,40 | 0,34 | 0,32 | 0,36 | 0,30 | 0,39 | 0,34 | 0,35 |
| Autres | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,08 |
| PRODUCTION TOTALE | 0,88 | 1,05 | 0,96 | 0,99 | 0,69 | 0,92 | 0,89 | 0,87 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,26 | 0,31 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,26 | 0,19 |

Tableau 10 : composition massique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

| COMPOSITION MASSIQUE (kg/j.hab) | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|--------|--------|-------------|------------------|--------|--------|-------------|
| QUARTIER | SAISON SECHE | | | | SAISON PLUVIEUSE | | | |
| | Gravats/fines | MO BIO | Autres | Total | Gravats/fines | MO BIO | Autres | Total |
| Béké-Est | 0,42 | 0,39 | 0,10 | 0,91 | 0,55 | 0,49 | 0,10 | 1,14 |
| Béké-Ouest | 0,67 | 0,43 | 0,07 | 1,17 | 0,31 | 0,31 | 0,12 | 0,74 |
| Gando | 0,59 | 0,35 | 0,05 | 0,99 | 0,67 | 0,31 | 0,02 | 1,00 |
| Gueré | 0,72 | 0,34 | 0,05 | 1,11 | 0,31 | 0,35 | 0,05 | 0,71 |
| Kossou | 0,44 | 0,28 | 0,02 | 0,76 | 0,37 | 0,28 | 0,11 | 0,76 |
| PRODUCTION MOYENNE | 0,57 | 0,36 | 0,06 | 0,99 | 0,44 | 0,35 | 0,08 | 0,87 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,13 | 0,06 | 0,03 | 0,16 | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0,19 |

Tableau 11 : composition volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

| COMPOSITION VOLUMIQUE (l/j.hab) | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|---------------|--------|------------|------------------|---------------|--------|------------|
| QUARTIER | SAISON SECHE | | | | SAISON PLUVIEUSE | | | |
| | MO BIO | Gravats/fines | Autres | Total | MO BIO | Gravats/fines | Autres | Total |
| Béké-Est | 0,9 | 0,4 | 0,7 | 2,0 | 1,5 | 0,5 | 0,7 | 2,7 |
| Béké-Ouest | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 2,0 | 0,9 | 0,3 | 1,0 | 2,2 |
| Gando | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 1,7 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 1,7 |
| Gueré | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 1,7 | 1,0 | 0,3 | 0,5 | 1,8 |
| Kossou | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 0,8 | 0,3 | 0,8 | 1,9 |
| PRODUCTION | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 1,7 | 1,0 | 0,4 | 0,7 | 2,1 |
| MOYENNE | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,4 |

➤ Caractéristiques physico-chimiques

La masse volumique apparente des déchets ménagers à Bembéréké est estimée à 569 +/- 69 kg/m³ en saison sèche contre 424 +/- 92 kg/m³ en saison pluvieuse. Ceci laisse supposer que les déchets ménagers seraient moins lourds en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Cette différence serait imputable aux catégories gravats/fines et MO BIO. En ce qui concerne les gravats/fines dont la masse volumique apparente varie très peu entre les deux saisons, ils alourdisent plus les poubelles en saison sèche simplement par les quantités qui y sont produites (0,57 kg/j.hab contre 0,44 kg/j.hab). La catégorie MO BIO, quant à elle, est moins dense en saison pluvieuse (0,33) qu'en saison sèche (0,44) ; sa teneur apparente en eau également est moins élevée en saison pluvieuse (19 %) qu'en saison sèche (23 %). En effet, pendant la saison sèche, cette catégorie renferme toutes les composantes qu'on lui connaît mais en saison pluvieuse, toutes ses composantes fraîches et directement valorisables n'y sont plus. Pendant la saison pluvieuse, on y retrouve généralement les coques, les gousses et des éléments plutôt légers dont le bétail ne raffole pas.

La masse volumique apparente des déchets ménagers est moins élevée pendant la saison pluvieuse que pendant la saison sèche dans tous les quartiers. Cette différence est plus marquée dans les quartiers Gueré, Kossou et Bembéréké-Ouest où la différence de la production des gravats/fines est également plus marquée.

La pertinence de l'influence saisonnière dans la production et la composition des déchets ménagers à Bembéréké sera évaluée dans la suite des travaux (analyse statistique sommaire des résultats).

Tableau 12 : masses volumiques apparentes des déchets et teneur en eau apparente saisonnières de la MO BIO

| SAISON | PLASTIQUE | PAPIER/CARTON | TISSU/CAUIR | METAL | CAOUTCHOUC | PILE | VERRE/CERAMIC | MO BIO | GRAVATS/FINES | TOTAL |
|-------------------|------------------|---------------|-------------|-------|------------|--------------|---------------|--------|---------------|--------------|
| | | | | | | | | | | |
| S pluvieuse | 0,113 | 0,104 | 0,193 | 0,118 | 0,194 | 0,649 | 0,510 | 0,334 | 1,159 | 0,424 |
| S sèche | 0,109 | 0,099 | 0,180 | 0,267 | 0,194 | 0,649 | 0,510 | 0,442 | 1,195 | 0,569 |
| TENEUR EN EAU (%) | Saison pluvieuse | | | | | Saison sèche | | | | |
| | 19 | | | | | 23 | | | | |

Tableau 13 : masse volumique apparente saisonnière des déchets ménagers en fonction des quartiers

| QUARTIER | MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (kg/m ³) | |
|----------------|--|------------------|
| | SAISON SECHE | SAISON PLUVIEUSE |
| Béké-Est | 461 | 421 |
| Béké-Ouest | 570 | 339 |
| Gando | 590 | 586 |
| Gueré | 640 | 404 |
| Kossou | 613 | 401 |
| MOYENNE | 569 +/- 69 | 424- 92 |

b) Caractéristiques annuelles des déchets ménagers

Les caractéristiques annuelles des déchets ménagers ont été déterminées en définissant chaque mois de l'année selon qu'il est pluvieux ou sec. Les caractéristiques de la saison correspondante à chaque mois lui ont été attribuées et une fois les caractéristiques mensuelles définies, les caractéristiques annuelles ont été déduites.

➤ Production annuelle

Chaque habitant à Bembéréké produit en moyenne **341 kg/an** de déchets ménagers. Cette production correspond à 679 l/an.hab. Donc, 0,94 +/- 0,10 kg/j.hab, correspondant à 1,9 +/- 0,3 l/j.hab. La production massique des déchets ménagers à Bembéréké est plus élevée pendant les mois de décembre, janvier et mars. Tandis que la production volumique est plus importante de juin à septembre.

La production annuelle des déchets ménagers à Bembéréké, qu'elle soit massique ou volumique est plus élevée dans les ménages de moyen standing par rapport à ceux de bas et de

haut standings. Cependant, elle est faible à Kossou par rapport aux autres quartiers. On s'attendrait comme dans la majorité des cas, à observer une croissance dans la production des déchets ménagers avec le niveau de vie des ménages. Par la suite, nous évaluerons les facteurs d'influence de la composition des déchets en rapport avec les différents standings ; et leur significativité (analyse statistique sommaire des résultats).

Tableau 14 : production mensuelle moyenne des déchets ménagers à Bembéréké

| MOIS | SAISON SECHE | | | SAISON PLUVIEUSE | | | PRODUCTION MASSIQUE MENSUELLE (kg/mois.cap) | PRODUCTION VOLUMIQUE MENSUELLE (m3/mois.cap) |
|--|-----------------|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------|---|--|
| | Nombre de jours | Production (kg/j.cap) | Densité (kg/m ³) | Nombre de jours | Production (kg/j.cap) | Densité (kg/m ³) | | |
| Janvier | 31 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 30,56 | 0,054 |
| Février | 28 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 27,61 | 0,048 |
| Mars | 31 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 30,56 | 0,054 |
| Avril | 30 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 29,58 | 0,052 |
| Mai | 16 | 0,99 | 569 | 15 | 0,87 | 424 | 28,83 | 0,058 |
| Juin | 0 | 0,99 | 569 | 30 | 0,87 | 424 | 26,12 | 0,062 |
| Juillet | 0 | 0,99 | 569 | 31 | 0,87 | 424 | 26,99 | 0,064 |
| Août | 0 | 0,99 | 569 | 31 | 0,87 | 424 | 26,99 | 0,064 |
| Septembre | 0 | 0,99 | 569 | 30 | 0,87 | 424 | 26,12 | 0,062 |
| Octobre | 15 | 0,99 | 569 | 15 | 0,87 | 424 | 27,85 | 0,057 |
| Novembre | 30 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 29,58 | 0,052 |
| Décembre | 31 | 0,99 | 569 | 0 | 0,87 | 424 | 30,56 | 0,054 |
| PRODUCTION MOYENNE TOTALE ANNUELLE (kg/an.hab; m³/an.hab) | | | | | | | 341,35 | 0,679 |
| PRODUCTION MOYENNE JOURNALIERE ANNUELLE (kg/j.hab; m³/j.hab) | | | | | | | 0,94 | 0,002 |

Tableau 15 : production journalière annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers et des standings

| QUARTIER | PRODUCTION ANNUELLE | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|------------|------------|------------|
| | PRODUCTION MASSIQUE (kg/j.hab) | | | | PRODUCTION VOLUMIQUE (l/j.hab) | | | |
| | HS | MS | BS | Moyenne | HS | MS | BS | Moyenne |
| Béké-Est | 0,76 | 0,96 | 1,12 | 1,00 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,3 |
| Béké-Ouest | 0,89 | 1,19 | 0,90 | 0,99 | 1,9 | 2,6 | 1,9 | 2,1 |
| Gando | 0,87 | 1,18 | 0,93 | 0,99 | 1,5 | 2,0 | 1,6 | 1,7 |
| Gueré | 0,94 | 0,93 | 0,78 | 0,94 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,7 |
| Kossou | 0,53 | 0,71 | 0,92 | 0,76 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 1,5 |
| PRODUCTION MOYENNE | 0,80 | 0,99 | 0,93 | 0,94 | 1,6 | 2,0 | 1,9 | 1,9 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,16 | 0,20 | 0,12 | 0,10 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |

Il existe peu d'études récentes pour pouvoir faire une comparaison objective de cette production avec celles des autres villes du Bénin. Cependant, en 1996, à Cotonou, chaque habitant produisait en moyenne 0,87 kg/j ou 2 l/j [49], tandis qu'on enregistrerait 0,65 kg/j ou 1,7 l/j à Porto Novo en 1997 et 0,89 kg/j à Abomey Calavi en 2009. [43 et 50].

➤ Composition annuelle

La composition moyenne annuelle des déchets ménagers à Bembéréké est dominée par les Gravats/fines et la MO BIO, tant en masse qu'en volume. Les compositions massiques et volumiques moyennes obtenues ont été comparées à celles de quelques villes du Bénin. Ainsi, la prédominance massique des catégories gravats/fines et MO BIO dans les déchets de toutes les villes est clairement établie. Cependant, nous notons une augmentation des gravats/fines du littoral (Cotonou), au continental (Kandi) ; et simultanément, une diminution de la MO BIO dans le même sens. En effet, de Cotonou à Kandi, on passe progressivement des régions humides du sud vers les régions arides du nord en traversant les régions tampons du centre du Bénin, parmi lesquelles Bembéréké. D'où la rareté croissante d'éléments putrescibles et la prédominance du Sud vers le Nord, d'éléments secs dans les déchets ménagers au Bénin.

Tableau 16 : composition massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké

| MOIS | PLASTIQUE | PAPIER/CARTON | TISSU/CAUIR | METAL | CAOUTCHOUC | PILE | VERRE/CERAMIC | MO BIO | GRAVATS/FINES | TOTAL |
|--|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | | | | |
| Janvier | 0,83 | 0,35 | 0,21 | 0,33 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 11,10 | 17,62 | 30,56 |
| Février | 0,75 | 0,32 | 0,19 | 0,30 | 0,02 | 0,09 | 0,00 | 10,03 | 15,91 | 27,61 |
| Mars | 0,83 | 0,35 | 0,21 | 0,33 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 11,10 | 17,62 | 30,56 |
| Avril | 0,80 | 0,34 | 0,21 | 0,32 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 10,74 | 17,05 | 29,58 |
| Mai | 0,95 | 0,48 | 0,30 | 0,25 | 0,02 | 0,08 | 0,13 | 10,94 | 15,69 | 28,84 |
| Juin | 1,05 | 0,60 | 0,38 | 0,15 | 0,02 | 0,05 | 0,25 | 10,43 | 13,19 | 26,12 |
| Juillet | 1,09 | 0,62 | 0,39 | 0,16 | 0,02 | 0,05 | 0,26 | 10,78 | 13,63 | 26,99 |
| Août | 1,09 | 0,62 | 0,39 | 0,16 | 0,02 | 0,05 | 0,26 | 10,78 | 13,63 | 26,99 |
| Septembre | 1,05 | 0,60 | 0,38 | 0,15 | 0,02 | 0,05 | 0,25 | 10,43 | 13,19 | 26,12 |
| Octobre | 0,92 | 0,47 | 0,29 | 0,24 | 0,02 | 0,08 | 0,13 | 10,58 | 15,12 | 27,85 |
| Novembre | 0,80 | 0,34 | 0,21 | 0,32 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 10,74 | 17,05 | 29,58 |
| Décembre | 0,83 | 0,35 | 0,21 | 0,33 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 11,10 | 17,62 | 30,56 |
| TOTAL (kg/an.hab) | 10,97 | 5,45 | 3,36 | 3,04 | 0,25 | 0,97 | 1,27 | 128,74 | 187,32 | 341,36 |
| Proportion (%) | 3,21 | 1,60 | 0,99 | 0,89 | 0,07 | 0,28 | 0,37 | 37,71 | 54,87 | 100 |
| Production journalière (kg/j.hab) | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,51 | 0,94 |

Tableau 17 : composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké

| MOIS | PLASTIQUE | PAPIER/CARTON | TISSU/CUIR | METAL | CAOUTCHOUC | PILE | VERRE/CERAMIC | MO BIO | GRAVATS/FINES | TOTAL |
|---|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| (m³/mois.hab) | | | | | | | | | | |
| Janvier | 0,008 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,025 | 0,015 | 0,054 |
| Février | 0,007 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,023 | 0,013 | 0,048 |
| Mars | 0,008 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,025 | 0,015 | 0,054 |
| Avril | 0,007 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | 0,014 | 0,052 |
| Mai | 0,009 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,029 | 0,013 | 0,058 |
| Juin | 0,009 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,031 | 0,011 | 0,062 |
| Juillet | 0,010 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,032 | 0,012 | 0,064 |
| Août | 0,010 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,032 | 0,012 | 0,064 |
| Septembre | 0,009 | 0,006 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,031 | 0,011 | 0,062 |
| Octobre | 0,008 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,028 | 0,013 | 0,057 |
| Novembre | 0,007 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | 0,014 | 0,052 |
| Décembre | 0,008 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,025 | 0,015 | 0,054 |
| TOTAL (l/an.hab) | 0,099 | 0,054 | 0,018 | 0,015 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,330 | 0,158 | 0,679 |
| Proportion (%) | 14,56 | 7,89 | 2,65 | 2,21 | 0,19 | 0,22 | 0,37 | 48,58 | 23,34 | 100 |
| Production journalière (l/j.hab) | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 0,4 | 1,9 |

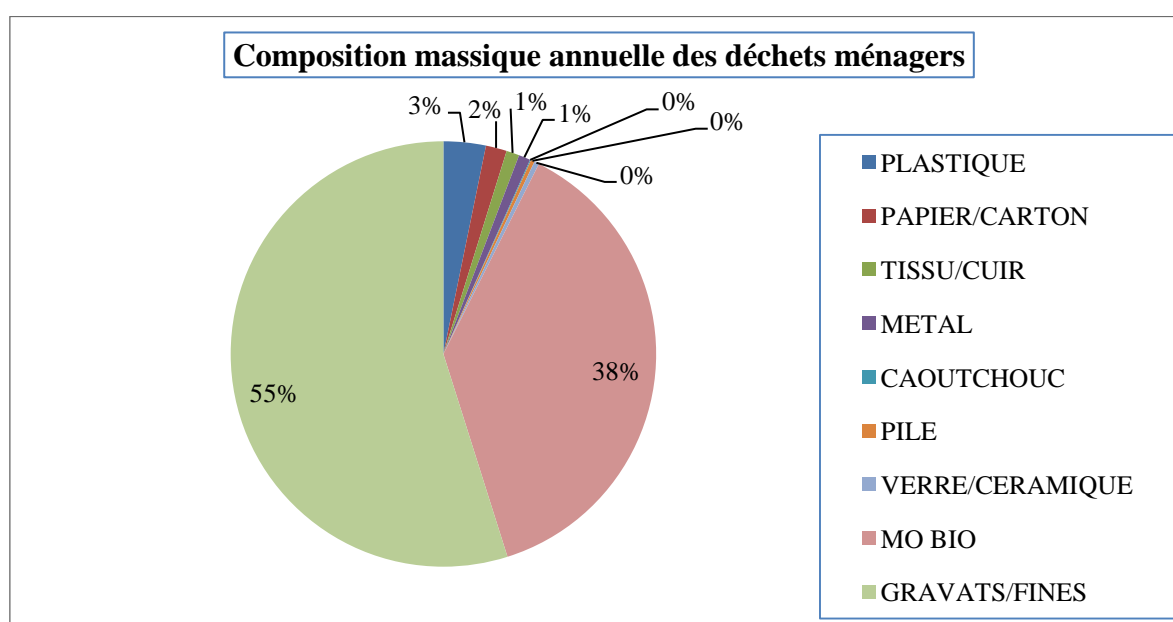


Figure 5 : composition massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké

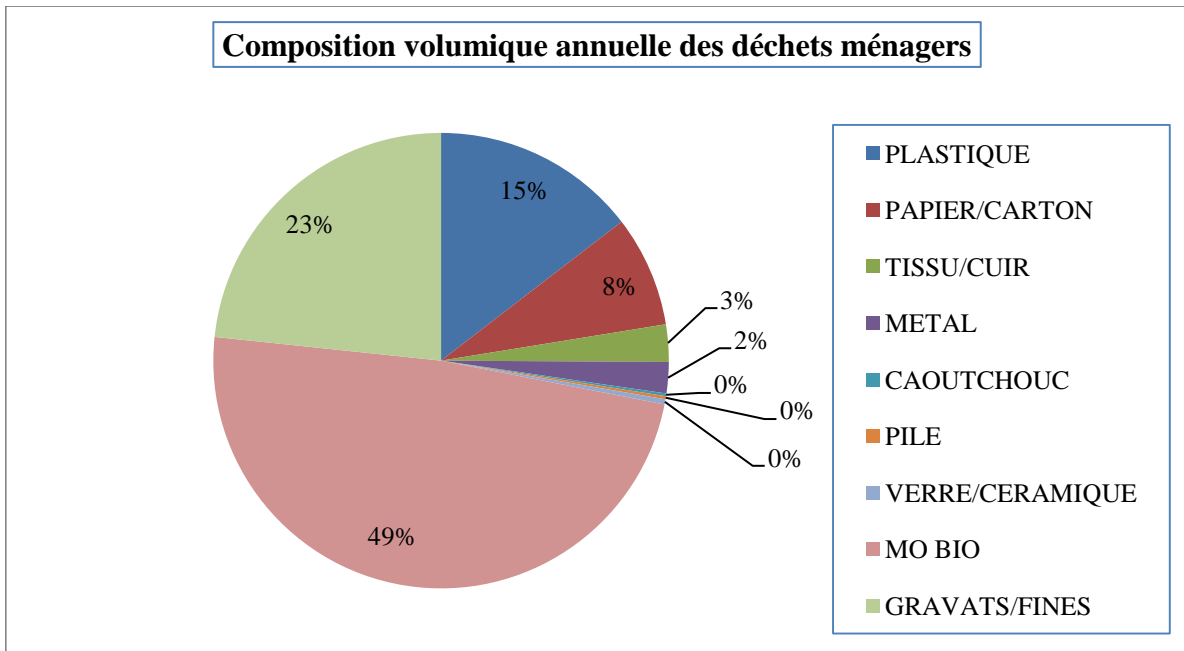


Figure 6 : composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké

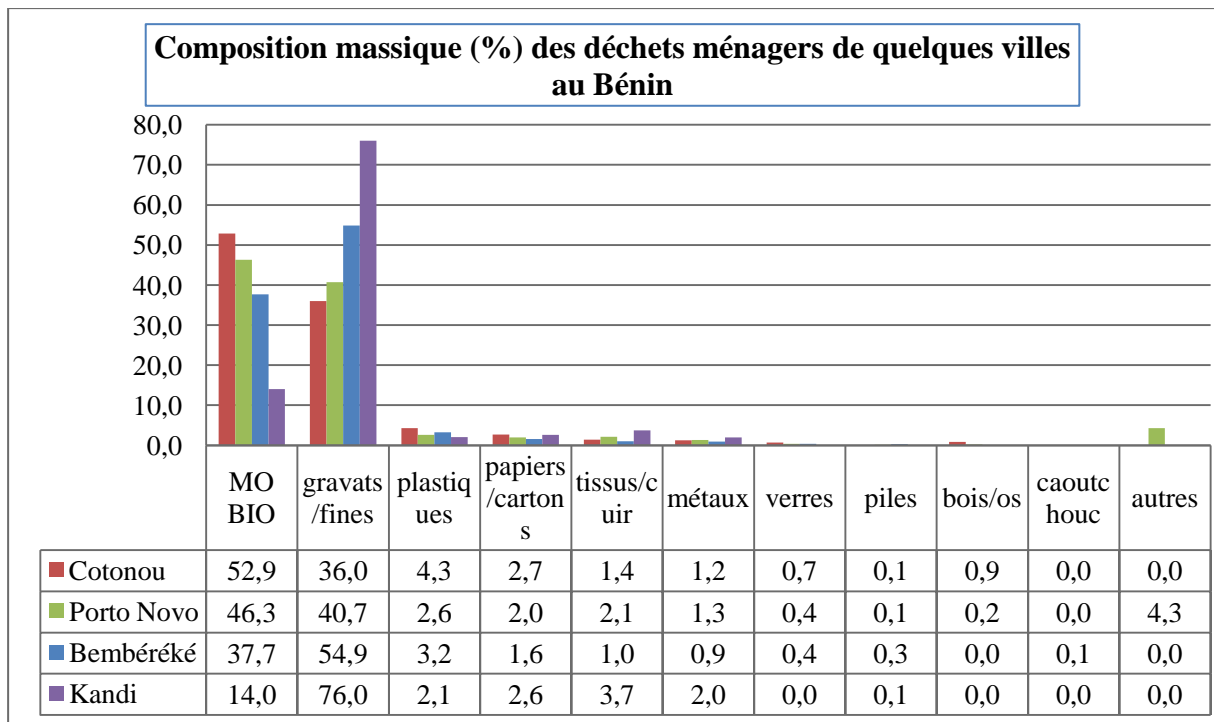


Figure 7 : composition massique des déchets ménagers de quelques villes au Bénin

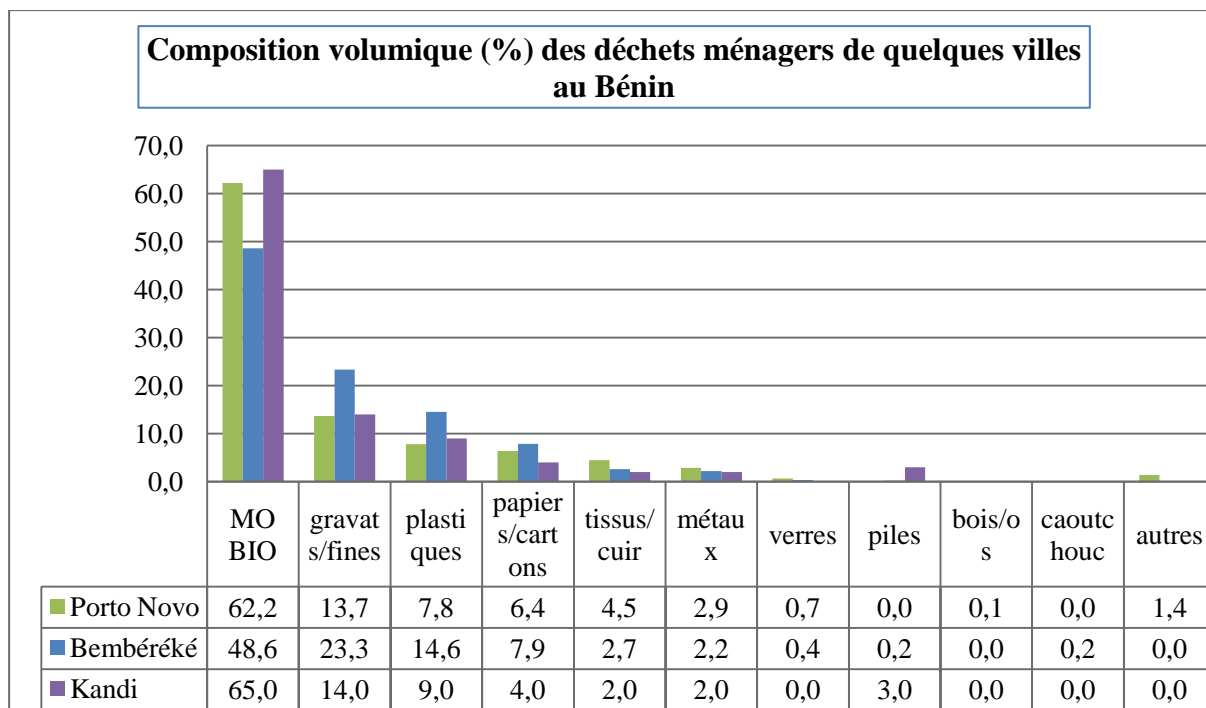


Figure 8 : composition volumique des déchets ménagers de quelques villes au Bénin

Les productions massiques et volumiques annuelles des déchets ménagers à Bembéréké, ont été exprimées pour chaque quartier. Les proportions massiques et volumiques des gravats/fines sont plus élevées dans les quartiers périphériques que sont Gando et Gueré, elles sont moindres dans les quartiers centraux que sont Bembéréké-Est et Bembéréké-Ouest ; par rapport au quartier enclavé Kossou. Par contre, la proportion massique de la MO BIO est plus élevée à Bembéréké-Est et moindre à Gando par rapport aux autres quartiers.

Tableau 18 : composition massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

| QUARTIERS | PLASTIQUE | PAPIER/CARTON | TISSU/CUIR | MÉTAL | CAOUTCHOUC | PILE | VERRE/CERAMIC | MO BIO | GRAVATS/FINES | TOTAL |
|----------------|-------------|---------------|------------|------------|------------|------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| (kg/an.hab) | | | | | | | | | | |
| Béké-Est | 16,6 | 6,8 | 4,3 | 5,4 | 0,2 | 0,6 | 0,1 | 158,5 | 172,4 | 365,0 |
| Béké-Ouest | 14,6 | 8,3 | 5,0 | 3,2 | 0,5 | 1,7 | 1,0 | 138,0 | 188,5 | 360,7 |
| Gando | 6,8 | 3,3 | 2,2 | 1,7 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 120,7 | 226,9 | 362,2 |
| Gueré | 8,8 | 3,9 | 2,2 | 2,1 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 125,8 | 198,4 | 342,1 |
| Kossou | 8,1 | 5,0 | 3,1 | 2,8 | 0,2 | 1,7 | 4,9 | 100,7 | 150,4 | 276,8 |
| MOYENNE | 11,0 | 5,4 | 3,4 | 3,0 | 0,3 | 1,0 | 1,3 | 128,7 | 187,3 | 341,4 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 4,4 | 2,1 | 1,2 | 1,4 | 0,1 | 0,7 | 2,0 | 21,4 | 28,6 | 37,2 |

Tableau 19 : composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

| QUARTIERS | PLASTIQUE | PAPIER/CARTON | TISSU/CUIR | MÉTAL | CAOUTCHOUC | PILE | VERRE/CERAMIC | MO BIO | GRAVATS/FINES | TOTAL |
|----------------|--------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | (m ³ /an.hab) | | | | | | | | | |
| Béké-Est | 0,150 | 0,067 | 0,023 | 0,025 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,413 | 0,146 | 0,828 |
| Béké-Ouest | 0,131 | 0,081 | 0,027 | 0,016 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,347 | 0,159 | 0,768 |
| Gando | 0,061 | 0,033 | 0,012 | 0,008 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,307 | 0,192 | 0,616 |
| Gueré | 0,079 | 0,038 | 0,012 | 0,011 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,323 | 0,167 | 0,633 |
| Kossou | 0,072 | 0,048 | 0,016 | 0,015 | 0,001 | 0,003 | 0,010 | 0,258 | 0,127 | 0,551 |
| MOYENNE | 0,099 | 0,054 | 0,018 | 0,015 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,330 | 0,158 | 0,679 |
| | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- |
| | 0,039 | 0,020 | 0,007 | 0,007 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,057 | 0,024 | 0,114 |

Les figures qui suivent, présentent la composition, en pourcent, des déchets ménagers produits dans les différents quartiers de Bembéréké.

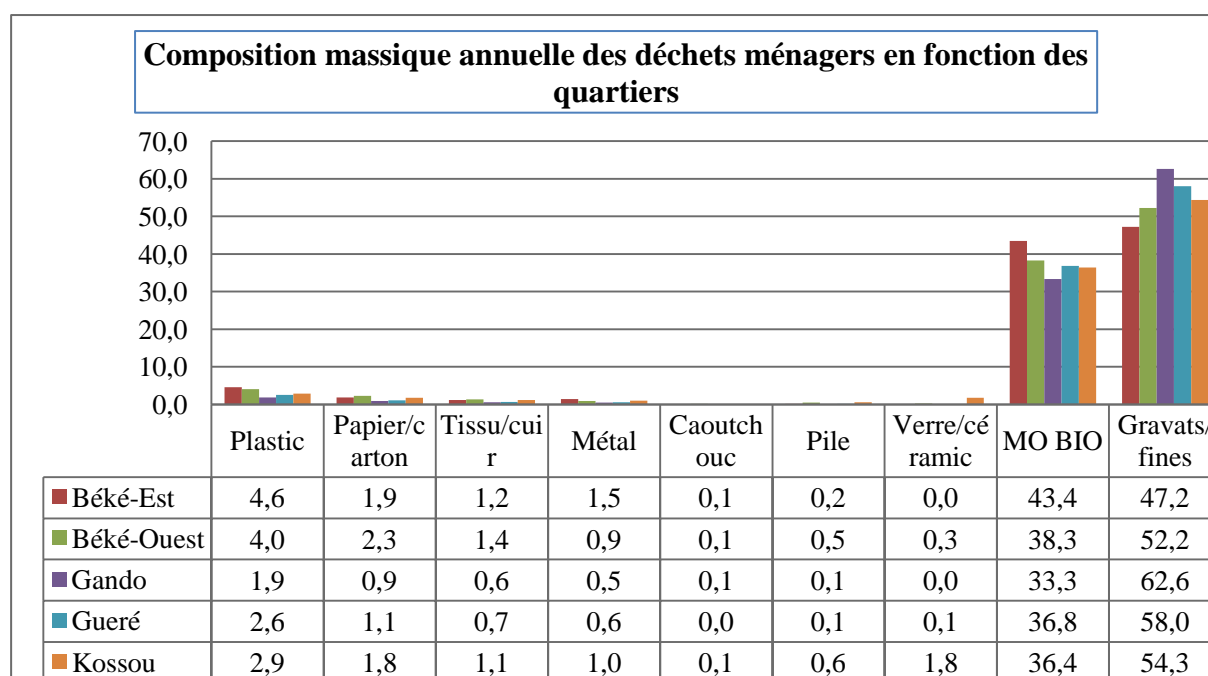


Figure 9 : composition (%) massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

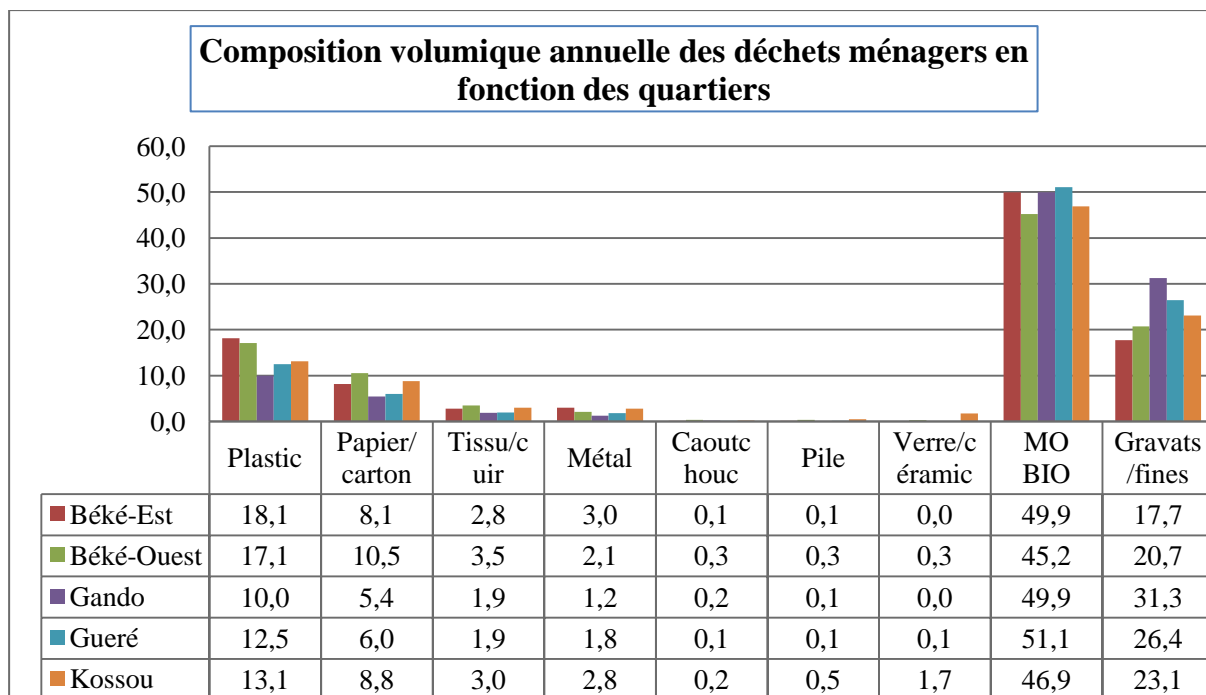


Figure 10 : composition (%) volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers

➤ Caractéristiques physico-chimiques annuelles

La masse volumique apparente annuelle des déchets ménagers de Bembéréké est de 503 +/- 58 kg/m³. La teneur en eau apparente annuelle de la matière organique biodégradable est estimée à 21 %. A Nouakchott, les déchets ménagers ont une masse volumique apparente de 410 +/- 88 kg/m³ et une teneur en eau moyenne de 11 % (23 % pour les matières fermentescibles). [3]. Les déchets ménagers produits à Cotonou ont une masse volumique apparente de 424 kg/m³ [49], tandis que celle des déchets ménagers produits à Porto Novo est de 380 kg/m³. [43]. Ceci montre que les déchets ménagers produits à Bembéréké sont denses, mais relativement secs.

c) Analyse statistique sommaire des résultats

Cette analyse est le moyen pour nous, d'évaluer et de nous prononcer de façon objective sur l'influence des facteurs que sont la saison, les quartiers et les standings, sur la production et la composition des déchets ménagers à Bembéréké. Il convient de noter que cette analyse a été faite uniquement sur les productions et compositions massiques.

Nous cherchions donc à nous prononcer sur la significativité statistique des différences des moyennes entre les saisons (variabilité inter-saison) en général, puis au sein de chaque quartier (variabilité inter-saison intra-quartier), et au sein de chaque standing (variabilité inter-saison intra-standing) ; de la production et de la composition des déchets ménagers. Ensuite, nous évaluons cette significativité au sein des saisons, entre les différents quartiers (variabilité intra-saison inter-quartier), et entre les standings (variabilité intra-saison inter-standing).

Enfin, nous évaluons cette significativité pour l'année en général, entre les quartiers (variabilité annuelle inter-quartier), entre les standings (variabilité annuelle inter-standing) ; puis les différences entre les standings au sein des quartiers (variabilité annuelle intra-quartier), et les différences entre les quartiers au sein des standings (variabilité annuelle intra-standing).

Pour ce faire, nous avons eu recours au logiciel *Statistica*, version 10 ; plus précisément à l'analyse de la variance (ANalysis Of VAriance) et à l'analyse discriminante pour la production et pour la composition, respectivement.

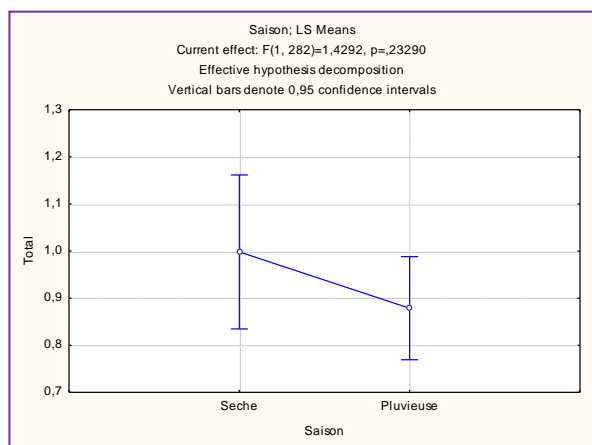
L'analyse de la variance (ANOVA) nous permet de déterminer s'il existe une différence significative entre les groupes. La valeur statistique F obtenue est le rapport de la variance intergroupe sur la variance intra-groupe. L'hypothèse de départ (aucune différence entre les moyennes n'est détectée), est acceptée si la valeur de F est nulle ; dans le cas contraire, elle est rejetée (il existe au moins une différence). Plus cette valeur de F est grande, plus les moyennes sont éloignées les unes des autres. La significativité est confirmée quand $p < 0,05$. [47]

L'analyse discriminante est une méthode d'analyse supervisée qui va calibrer un modèle de classification optimum. Au lieu de choisir parmi toutes les combinaisons, celles qui expliquent le mieux la variabilité des observations, la procédure choisira celles dans l'espace desquelles les classes proposées sont rendues bien distinctes les unes des autres. L'hypothèse de départ (aucune différence entre les moyennes n'est détectée), est acceptée si la valeur de F est nulle ; dans le cas contraire, elle est rejetée (il existe au moins une différence). La significativité de la variabilité est confirmée quand $p < 0,05$. [47]. La version que nous avons utilisée est l'analyse discriminante multivariée dite « pas à pas » ascendante, afin d'identifier, parmi l'ensemble des variables indépendantes, celles qui discriminent au mieux les observations en classes. Certaines catégories sont en abrégé dans la présentation des résultats (matière organique biodégradable MO BIO, Gravats/fines : G/F, papiers/cartons : P/C, plastiques : Plast., verre/céramique : V/C, tissus/cuirs : T/C).

➤ Variabilité des productions et des compositions saisonnières

- **Variabilité inter-saison générale**

Les résultats ici présentés nous révèlent qu'il n'y a pas de différence significative entre les quantités de déchets ménagers produits à Bembéréké pendant la saison sèche et celles produites pendant la saison pluvieuse ($p = 0,23 > 0,05$). Cependant, il existe une différence significative dans les compositions de ces déchets d'une saison à l'autre ($p < 0,05$). Les catégories qui diffèrent significativement d'une saison à l'autre sont : les gravats/fines, les piles, les tissus/cuirs et les métaux.



| Discriminant Function Analysis Summary (DONNEES-BRUTES) at Step 6, N of vars in model: 6; Grouping: Saison (2 grps) | | | | | | |
|---|---------------|----------------|------------------|---------|---------|-------------------|
| Wilks' Lambda: ,89641 approx. F (6,277)=5,3351 p< ,0000 | | | | | | |
| | Wilks' Lambda | Partial Lambda | F-remove (1,277) | p-level | Toler. | 1-Toler. (R-Sqr.) |
| N=284 | | | | | | |
| Metaux | 0,91902 | 0,97539 | 6,98849 | 0,00867 | 0,90276 | 0,09723 |
| Tissus_cuir | 0,91461 | 0,98009 | 5,62677 | 0,01837 | 0,57239 | 0,42760 |
| Piles | 0,92597 | 0,96807 | 9,13591 | 0,00274 | 0,77113 | 0,22886 |
| Gravats_fines | 0,90913 | 0,98800 | 3,93174 | 0,04837 | 0,87201 | 0,12798 |
| Papier_carton | 0,90773 | 0,98752 | 3,49837 | 0,06248 | 0,63228 | 0,36771 |
| Verre_ceramique | 0,90319 | 0,99248 | 2,09706 | 0,14871 | 0,88822 | 0,11177 |

Figure 11 : résultats du test de la variabilité inter-saison générale de la production et de la composition des déchets ménagers à Bembéréké (en rouge : résultat significatif)

- Variabilité inter-saison intra-quartier et intra-standing

Au sein de tous les quartiers et de tous les standings, la production des déchets ménagers ne varie pas de façon significative d'une saison à l'autre ($p > 0,05$) : variabilité inter-saison intra-quartier et intra-standing de la production non-significatives.

La composition des déchets ménagers à Kossou, comme à Bembéréké-Ouest, à Gando et à Gueré varie de façon significative d'une saison à l'autre ($p < 0,05$) ; ceci n'est pas le cas à Bembéréké-Est ($p = 0,058 > 0,05$).

Aussi, la composition de ces déchets varie significativement d'une saison à l'autre dans tous les standings ($p < 0,05$). Dans les ménages de haut standing, ce sont les piles qui diffèrent significativement d'une saison à l'autre ; tandis que dans les ménages de moyen standing, ce sont les métaux, les gravats/fines et les papiers/cartons ; et enfin dans les ménages de bas standing, ce sont les métaux et les plastiques.

Tableau 20 : résultats du test de la variabilité (ANOVA) inter-saison de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) au sein des quartiers et des standings

| Paramètres | VARIABILITE INTER-SAISON DE LA PRODUCTION | | | | | | | |
|------------|---|-------------|-------------|-------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| | Intra-quartier | | | | | Intra-standing | | |
| | Béké-E | Béké-W | Gando | Gueré | Kossou | Haut | Moyen | Bas |
| Sèche | 0,91 | 1,17 | 0,99 | 1,11 | 0,76 | 0,88 | 1,05 | 0,96 |
| Humide | 1,14 | 0,74 | 1,00 | 0,71 | 0,76 | 0,69 | 0,92 | 0,89 |
| F | 0,82 | 3,00 | 0,11 | 2,79 | 0 | 1,65 | 0,43 | 0,42 |
| p | 0,37 | 0,09 | 0,74 | 0,10 | 1 | 0,20 | 0,51 | 0,52 |

Tableau 21 : résultats du test de la variabilité (*Analyse discriminante*) inter-saison de la composition pondérale des déchets ménagers au sein des quartiers et des standings (*en vert = résultat non-significatif, en rouge = résultat significatif*)

| VARIABILITE INTER-SAISON DE LA COMPOSITION | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------|---------------|-------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Paramètres | <i>Intra-quartier</i> | | | | | <i>Intra-standing</i> | | |
| | Béké-E | Béké-W | Gando | Gueré | Kossou | Haut | Moyen | Bas |
| F | 2,64 | 13,08 | 6,07 | 3,42 | 6,79 | 4,21 | 3,49 | 4,65 |
| p | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Catégories | T/C | G/F, P/C | G/F, Métal | Piles | Métal, T/C, Plast., Piles | Piles, V/C | Métal, G/F, P/C | Métal, Plast. |

- **Variabilité intra-saison inter-quartier et inter-standing**

En saison sèche comme en saison pluvieuse, la production des déchets ménagers ne varie pas de façon significative d'un quartier à l'autre et d'un standing à l'autre ($p > 0,05$) : variabilité intra-saison inter-quartier et inter-standing de la production non-significatives.

Cependant, la composition de ces déchets varie significativement au sein d'une même saison, d'un quartier à l'autre. Si en saison sèche, ce sont les piles qui diffèrent significativement d'un quartier à l'autre ; en saison pluvieuse par contre, ce sont toutes les catégories sauf les métaux et les tissus/cuir, qui diffèrent significativement d'un quartier à l'autre.

En saison sèche, la composition générale de ces déchets ne varie pas significativement d'un standing à l'autre ; mais, la catégorie papiers/cartons diffère significativement d'un standing à l'autre. En saison pluvieuse, la composition générale des déchets ménagers varie significativement d'un standing à l'autre ; les catégories qui diffèrent significativement d'un standing à l'autre sont : les plastiques et les papiers/cartons.

Tableau 22 : résultats du test de la variabilité (*ANOVA*) intra-saison de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) entre les quartiers et entre les standings

| VARIABILITE INTRA-SAISON | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|-------------|
| Paramètres | <i>Inter-quartier</i> | | Paramètres | <i>Inter-standing</i> | |
| | Sèche | Humide | | Sèche | Humide |
| Béké-E | 0,91 | 1,14 | HS | 0,88 | 0,69 |
| Béké-W | 1,17 | 0,74 | MS | 1,05 | 0,92 |
| Gando | 0,99 | 1,00 | BS | 0,96 | 0,89 |
| Gueré | 1,11 | 0,71 | | | |
| Kossou | 0,76 | 0,76 | | | |
| F | 0,77 | 2,21 | F | 0,43 | 0,97 |
| p | 0,54 | 0,07 | p | 0,65 | 0,38 |

Tableau 23 : résultats du test de la variabilité (*Analyse discriminante*) intra-saison de la composition pondérale des déchets ménagers entre les quartiers et entre les standings (en vert = résultat non-significatif, en rouge = résultat significatif)

| Paramètres | <i>Inter-quartier</i> | | <i>Inter-standing</i> | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|
| | Sèche | Humide | Sèche | Humide |
| F | 1,77 | 4,54 | 1,78 | 2,81 |
| p | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,00 |
| Catégories | Piles | VC, Piles, MO, BIO, Plast. G/F, P/C | P/C | Plast. P/C |

➤ Variabilité des productions et des compositions annuelles

- Variabilité annuelle inter-quartier et inter-standing

La production annuelle des déchets ménagers à Bembéréké ne varie pas significativement, ni d'un quartier à l'autre ($p = 0,23 > 0,05$), ni d'un standing à l'autre ($p = 0,29 > 0,05$) : variabilité annuelle inter-quartier et inter-standing de la production des déchets ménagers à Bembéréké non-significatives.

Cependant, leur composition générale varie significativement d'un quartier à l'autre. Les catégories qui diffèrent significativement d'un quartier à l'autre sont : la MO BIO, les gravats/fines, les papiers/cartons et les plastiques.

On note également une variation significative de leur composition d'un standing à l'autre. Les catégories qui diffèrent significativement d'un standing à l'autre sont : les tissus/cuirs, les plastiques et les papiers/cartons.

Tableau 24 : résultats du test de la variabilité (*ANOVA*) annuelle de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) entre les quartiers et entre les standings

| VARIABILITE ANNUELLE DE LA PRODUCTION | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|-------------|
| | <i>Inter-quartier</i> | | <i>Inter-standing</i> | |
| Béké-E | 1,00 | | HS | 0,80 |
| Béké-W | 0,99 | | | |
| Gando | 0,99 | | MS | 0,99 |
| Gueré | 0,94 | | | |
| Kossou | 0,76 | | BS | 0,93 |
| F | 1,41 | | F | 1,23 |
| p | 0,23 | | p | 0,29 |

Tableau 25 : résultats du test de la variabilité (*Analyse discriminante*) annuelle de la composition pondérale des déchets ménagers entre les quartiers et entre les standings (en rouge = résultat significatif)

| VARIABILITE ANNUELLE DE LA COMPOSITION | | | | |
|--|--------------------------|--|-----------------------|--|
| | <i>Inter-quartier</i> | | <i>Inter-standing</i> | |
| F | 3,97 | | 2,82 | |
| p | 0,00 | | 0,00 | |
| Catégories | MO BIO, G/F, P/C, Plast. | | T/C, Plast., P/C | |

- **Variabilité annuelle intra-quartier et intra-standing**

La production annuelle des déchets ménagers à Bembéréké ne varie pas significativement ni d'un standing à l'autre au sein de chaque quartier, ni d'un quartier à l'autre pour chacun des standings.

La composition annuelle de ces déchets varie significativement d'un standing à l'autre au sein de tous les quartiers (sauf à Bembéréké-Est) ; les catégories qui diffèrent significativement d'un standing à l'autre sont majoritairement les plastiques et les papiers/cartons.

La composition annuelle de ces déchets varie significativement d'un quartier à l'autre pour les ménages de moyen et de bas standings. Pendant que pour les ménages de moyen standing, ce sont les papiers/cartons et les plastiques qui diffèrent significativement d'un quartier à l'autre ; ce sont les verres/céramiques qui diffèrent au sein des ménages de bas standing.

Tableau 26 : résultats du test de la variabilité (ANOVA) annuelle de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) au sein des quartiers et des standings

| VARIABILITE ANNUELLE DE LA PRODUCTION | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|-------------|-------------|----------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Quartier | Intra-standing | | | Standing | Intra-quartier | | | | |
| | HS | MS | BS | | Béké-E | Béké-W | Gando | Gueré | Kossou |
| Béké-E | 0,76 | 0,96 | 1,12 | HS | 0,76 | 0,89 | 0,87 | 0,94 | 0,53 |
| Béké-W | 0,89 | 1,19 | 0,90 | | | | | | |
| Gando | 0,87 | 1,18 | 0,93 | | | | | | |
| Gueré | 0,94 | 0,93 | 0,78 | | | | | | |
| Kossou | 0,53 | 0,71 | 0,92 | | | | | | |
| F | 1,19 | 0,41 | 1,82 | F | 1,12 | 0,68 | 1,30 | 0,08 | 1,12 |
| p | 0,33 | 0,80 | 0,13 | p | 0,33 | 0,51 | 0,28 | 0,92 | 0,33 |

Tableau 27 : résultats du test de la variabilité (Analyse discriminante) annuelle de la composition pondérale des déchets ménagers au sein des quartiers et des standings (en vert = résultat non-significatif, en rouge = résultat significatif)

| VARIABILITE ANNUELLE DE LA COMPOSITION | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|-------------|------------------------|----------------|-------------|-------------|
| Paramètres | Intra-quartier | | | | | Intra-standing | | |
| | Béké-E | Béké-W | Gando | Gueré | Kossou | Haut | Moyen | Bas |
| F | 1,84 | 2,49 | 2,80 | 4,35 | 2,33 | 1,80 | 2,18 | 3,33 |
| p | 0,06 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,054 | 0,00 | 0,00 |
| Catégories | P/C | V/C, Plast. | Plast., P/C | Piles | T/C, Plast., P/C | / | P/C | V/C |

➤ Synthèse de l'analyse statistique des données

La production massive des déchets ménagers à Bembéréké ne varie pas significativement ni d'une saison à l'autre, ni d'un quartier à l'autre et d'un standing à l'autre ; ni au sein même des saisons, des quartiers et des standings.

La composition des déchets solides à Bembéréké varie significativement quasi toujours, non seulement d'une saison à l'autre, d'un quartier à l'autre et d'un standing à l'autre ; mais également au sein même des saisons, des quartiers et des standings.

- Ce sont les gravats/fines, les piles, les tissus/cuir et les métaux qui diffèrent significativement d'une saison à l'autre. En effet, toutes ces catégories, à l'exception des tissus/cuir, sont plus produites pendant la saison sèche que pendant la saison pluvieuse.
- Sur l'année, ce sont la MO BIO, les gravats/fines, les papiers/cartons et les plastiques qui diffèrent significativement d'un quartier à l'autre. En effet, c'est dans les quartiers Bembéréké-Est et Bembéréké-Ouest que les ménages produisent le plus les plastiques et les papiers/cartons. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces quartiers, qui sont les quartiers centraux de la zone d'étude, sont également les seuls quartiers vraiment urbanisés où on enregistre le plus de commerces et d'activités économiques, lesquels génèrent très souvent ces déchets dits d'emballage. Contrairement à Gando, quartier périphérique encore plus traditionnel, où ces catégories sont moindres ; mais c'est par contre dans ce quartier qu'on enregistre la plus grosse production des gravats/fines. La plus grosse production de MO BIO dans les ménages est enregistrée à Bembéréké-Est ; ceci peut s'expliquer par le fait que la place commerciale de la zone d'étude y est située. En effet, les animaux domestiques, potentiellement responsables de la diminution de cette catégorie dans les poubelles, trouvent dans ce quartier facilement leur alimentation journalière dans les déchets organiques produits en grande quantité lors des marchés.
- Sur l'année, ce sont les tissus/cuir, les plastiques et les papiers/cartons qui diffèrent significativement d'un standing à l'autre. Ce sont les ménages de moyen standing qui produisent le plus ces catégories de déchets, ils sont suivis par les ménages de haut standing. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, les activités commerciales et artisanales, génératrices de ces catégories de déchets, sont pratiquées majoritairement par les personnes de niveau de vie moyen.
- Sur l'année, les ménages de haut et de bas standings ne diffèrent significativement pas d'un quartier à l'autre mais, les ménages de moyen standing diffèrent significativement d'un quartier à l'autre par les déchets d'emballage. En effet, ce sont les ménages de moyen standing des quartiers Bembéréké-Ouest et Bembéréké-Est, qui produisent le plus ces catégories de déchets. Ceci vient confirmer que, ces deux quartiers sont le siège de la majorité des activités commerciales et économiques de la zone d'étude ; et ce sont les populations de niveau de vie moyen qui exercent ces activités.

La production des déchets ménagers à Bembéréké n'est liée ni aux saisons, ni aux quartiers, ni aux standings ; mais aux facteurs temporels (années, décennies...) car cette production serait passée de 0,55 kg/j.hab à 0,94 kg/j.hab entre 2005 et 2011. Par ailleurs, cette différence pourrait aussi bien provenir des différences dans les méthodes de caractérisation ayant produit ces résultats.

La composition de ces déchets ménagers quant à elle, est plus liée aux milieux/espaces de vie (quartiers) et aux niveaux/conditions de vie (standings) des ménages qui les produisent ; les influences saisonnières sont souvent présentes mais très marquées en ce qui concerne les gravats/fines. Ceci justifie amplement la présente mise à jour des données existantes à travers cette démarche de caractérisation qui prend en compte les facteurs locaux influençant les caractéristiques des déchets ménagers émis.

Les résultats obtenus au terme de cette analyse montrent que les données obtenues proviennent d'une même et unique population, majoritairement agricole, au sein de laquelle règne une bonne cohésion sociale et où les ménages de moyen standing des quartiers centraux se livrent aux activités additionnelles que sont le commerce et la restauration domiciliaires. Ainsi, l'extrapolation des données obtenues, considérées comme fiables, ne biaisent pas les résultats globaux. Cependant, par manque d'informations précises sur la première campagne de caractérisation, notamment sur l'échantillonnage, la saison et les quartiers concernés, il serait judicieux de procéder à une mise à jour des caractéristiques de ces déchets à l'aide de la présente méthode afin de connaître leurs tendances évolutives réelles.

2.3.4. Caractéristiques des déchets de marchés et interprétation

a) Production

Cette information est très souvent absente. Pourtant, les marchés en Afrique produisent d'énormes quantités de déchets dont la connaissance serait importante pour penser au mieux leur gestion adéquate. La production des déchets de marchés a été ramenée au nombre d'étals (exposants) lors de ces marchés. Les lundis, bien que la production totale des déchets soit moindre que les jeudis, la production par étalage y est plus abondante par rapport aux jeudis. Rappelons que les lundis sont les jours de marché alimentaire et les jeudis sont les jours de marché mixte.

Tableau 28 : production des déchets de marchés à Bembéréké

| Jour de marché | Semaine | Production totale (kg) | Nombre d'étals | Production moyenne (kg/étal) | Production moyenne (kg/étal) | Production moyenne hebdomadaire (kg/étal) |
|--|---------|------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|---|
| Lundi | 1 | 304 | 150 | 2,03 | 1,97 | 1,32 |
| | 2 | 165 | 100 | 1,65 | | |
| | 3 | 288 | 135 | 2,13 | | |
| Jeudi | 1 | 511 | 367 | 1,39 | 1,12 | |
| | 2 | 396 | 400 | 0,99 | | |
| | 3 | 516 | 500 | 1,03 | | |
| Densité humide en poubelle (kg/m³) | | | | | 340 | |

b) Composition

La répartition des déchets émis les jours de marché à Bembéréké, a été faite selon 9 catégories, tout comme celle des déchets ménagers. Cependant, elle est en général dominée par la matière organique biodégradable et les déchets d'emballage (plastiques, papiers et cartons). La proportion des gravats/fines ici est également élevée. Cette composition laisserait imaginer que les lundis, jours de marché alimentaire strict, les proportions de matière organique biodégradable et de gravats/fines seraient plus importantes que celles des jeudis ; et les proportions des déchets d'emballage seraient elles, moins importantes les lundis par rapport aux jeudis.

La composition moyenne de ces déchets a été comparée à celle du marché de Yaoundé au Cameroun [44] et à celle du marché du Grand-duché du Luxembourg [48]. Ainsi, la majorité de ces déchets de marchés est constituée des déchets putrescibles et des déchets d'emballage dans tous les cas. La différence frappante est la présence des gravats/fines dans les marchés de Yaoundé et de Bembéréké, remplacés dans le marché du Grand-duché du Luxembourg par le bois. L'explication que nous pouvons apporter à cela, est qu'alors que les marchandises sont disposées, transportées et installées du bois (caissettes, palettes et comptoirs) au Luxembourg, à Yaoundé et à Bembéréké, comme presque partout en Afrique, les marchandises sont

exposées sur des étals à même le sol. Après les activités en Afrique, le nettoyage des places commerciales, dépourvues de revêtement quelconque contribue, de manière inévitable au soulèvement et à l'arrachage des quantités importantes de gravats/fines.

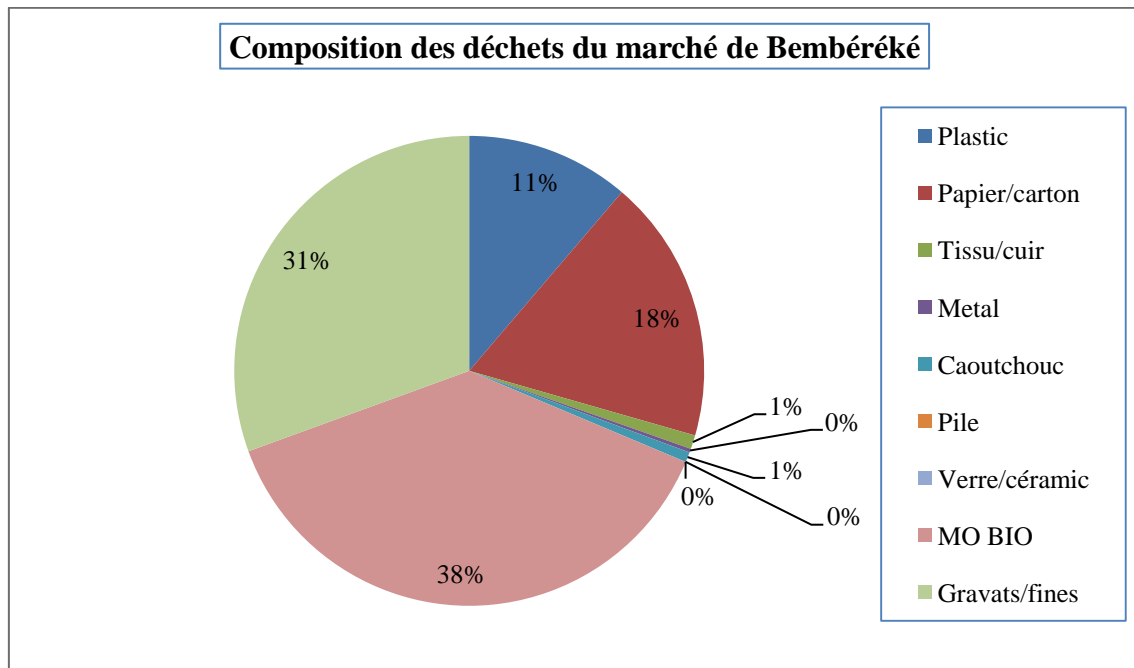


Figure 12 : composition des déchets de marchés à Bembéréké

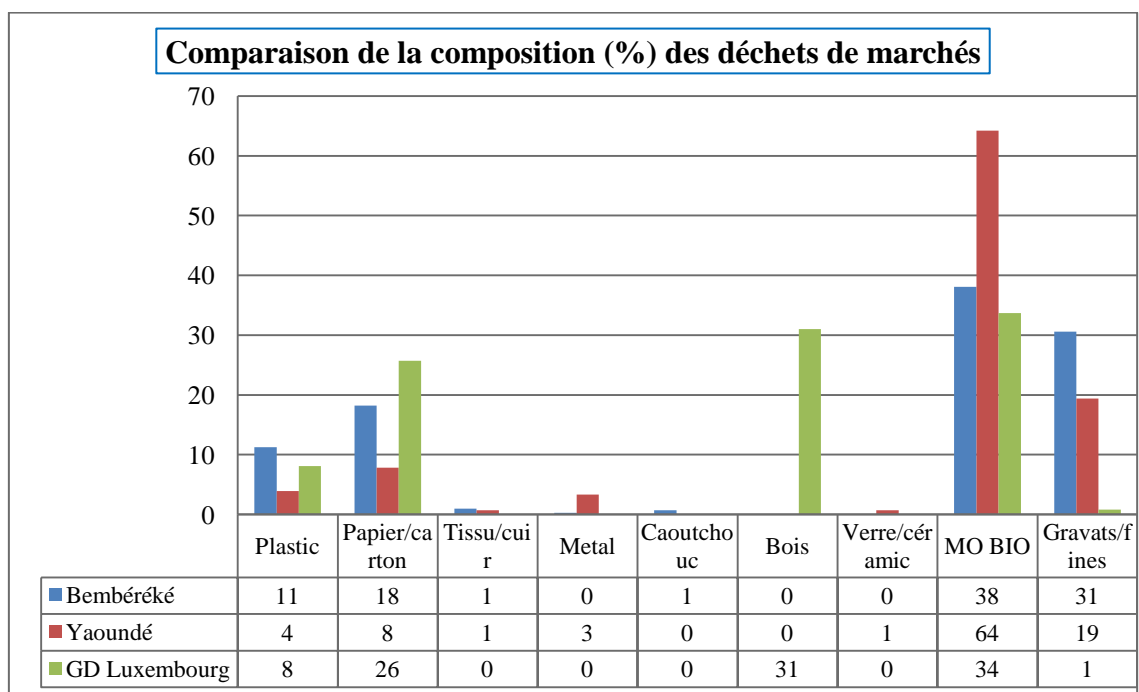


Figure 13 : comparaison des pourcentages massiques des déchets de marchés à Bembéréké, Yaoundé et au Grand-duché du Luxembourg

CONCLUSION DU CHAPITRE 2

La caractérisation des quantités et des compositions des déchets ménagers et celle des déchets de marchés, réalisées dans le cadre de la mise en place d'une filière de gestion des déchets à Bembéréké, ont nécessité la mise sur pieds d'une méthode rapide, peu coûteuse et aisément applicable dans les contextes similaires. En effet, basée sur les données sociodémographiques et climatiques accessibles, elle laisse des possibilités pour l'intégration des spécificités et contraintes liées au contexte de la nécessité d'une telle étude et, aux objectifs poursuivis par les gestionnaires. Elle permet d'identifier les déchets à la source (ménages et marchés) ; quand les influences des facteurs externes sur la production, la composition et les propriétés intrinsèques de ces déchets, sont minimales. Les méthodologies appliquées pour la détermination des paramètres des ménages à échantillonner et, pour la constitution des échantillons à caractériser, permettent de calculer des moyennes pondérées plus fiables et, d'extrapoler fidèlement les résultats obtenus à la population entière. Les facteurs primaires, potentiellement responsables de la variabilité des déchets pourraient dès lors, être clairement identifiés et les axes d'intervention, aisément définis. Le manque crucial des données essentielles sur les déchets solides et la restriction budgétaire de plus en plus poussée sur la part du budget allouée au domaine de l'assainissement, dans les villes secondaires en Afrique subtropicale, font que la rapidité de mise en place et le coût limité de cette méthode de caractérisation, en constituent d'autres avantages. La production des déchets ménagers à Bembéréké se situe bien dans l'actuelle fourchette nationale béninoise ; cependant, elle n'est significativement liée ni aux saisons, ni aux quartiers et ni aux standings. La composition de ces déchets, sous l'influence marquée des standings, des quartiers et des saisons, laisse apparaître la prédominance (en masse) des gravats/fines et de la matière organique biodégradable. Ainsi, les résultats obtenus confirment les travaux d'autres auteurs : à la fois une proportion importante de matière organique, mais aussi de gravats et de fines ; ces caractéristiques ayant des conséquences importantes sur le choix des filières à mettre en œuvre pour le traitement ultérieur de ces déchets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)

- [41] **ADEME, 2012.** Chiffres-clés. Déchets, édition 2012. 50 p. www2.ademe.fr/servlet/getBin?name...tomcatlocal1340953775707.pdf. Consulté le 23/02/2013.
- [42] **DOGOT T., 2011.** Conception d'une enquête par questionnaire (partim). Notes de cours ENVT2064-1, Université de Liège.
- [43] **DORIER *et al.*, 2002.** Gestion des déchets et aide à la décision municipale : municipalité de Mopti (Mali) et circonscription urbaine de Porto Novo (Bénin). Programme de gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, Volume II et III. IRD-Université de Provence, 133 p.
- [44] **ERA-CAMEROUN, 2002.** Mise en place des structures de pré collecte et de traitement des déchets solides urbains dans une capitale tropicale: cas de Yaoundé, Cameroun. D05, Programme de gestion durable et de l'assainissement urbain, Rapport final, 184 p.
- [45] **LABARERE J., 2010.** Test de comparaison de pourcentages- X^2 . Notes de cours, UE4 : Biostatistiques, chap. 6. Université Joseph Fourier de Grenoble. 86p.
- [46] **LOUGOUDOU C., 2010.** Système de gestion des déchets à Kandi. DCAM-BETHESDA, 32 p.
- [47] **NICOLAS J., 2011.** Acquisition et traitement des données environnementales, indicateurs de développement durable (DPSIR). Notes de cours ENVT2010-1, Université de Liège, 238 p.
- [48] **SuperRecyclingKëscht, 2004.** Ergebnisbericht. Reorganisation der Marktabfallbewirtschaftung : dargestellt am Beispiel der Wochenmärkte der Stadt Esch-sur-Alzette. Abfall Wirtschaft im Grossherzogtum Luxemburg, 18 p.
- [49] **Tech-Dev/CREPA-Benin, 2002.** Maîtrise de l'amont de la filière déchets solides dans la ville de Cotonou (Bénin). Pré collecte et valorisation. Déchets D09, Programme de gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, Rapport final, 129 p.
- [50] **TOPANOU *et al.*, 2011.** Characterization of Household Solid Waste in the town of Abomey-Calavi in Benin. Journal of Environmental Protection, volume 2, 2011, pp. 692-699. Doi: 10.4236/jep.2011.26080 Published Online August 2011.

CHAPITRE 3

SCENARISATION DE LA GESTION DES DECHETS SOLIDES POUR BEMBEREKE

Penser globalement et agir localement...

Vieil adage

CHAPITRE 3 : SCENARISATION DE LA GESTION DES DECHETS SOLIDES POUR BEMBEREKE

3.1. BASES DE LA GESTION DES DECHETS SOLIDES

3.1.1. Politiques de gestion

a) Politiques générales

La gestion des déchets est orientée par des principes variant selon les continents, les pays ou les régions. Ces principes conduisent très souvent à l'élaboration des plans et stratégies de gestion. Bien que ces plans et stratégies soient spécifiques aux contextes et aux objectifs de la gestion des déchets, ils ont presque tous pour objectif premier la limitation de la production des déchets. Pour cela, ils attaquent préférentiellement le problème à la source, cherchant à en maîtriser l'amont. Leur pierre angulaire est la règle des 3R : *Réduire-Réutiliser/Réemployer-Recycler*. Cette règle sous-tend l'utilisation maximale des matériaux et la génération minimale des rebus. A cette règle des 3R s'ajoute très souvent la valorisation et l'élimination. En Europe par exemple, la directive-cadre sur les déchets n°2008/98/CE du 19 novembre 2008, introduit l'obligation de hiérarchiser les orientations de la politique de prévention et de gestion des déchets suivant les modes de gestion qui placent en tout premier lieu la prévention notamment par le réemploi, puis la réutilisation, le recyclage, la valorisation et enfin l'élimination. [54]

➤ Réduire

La réduction des déchets vise à prévenir ou à réduire la production des déchets à la source.

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement français définit la prévention comme « *toutes mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet, lorsque ces mesures concourent à la réduction d'au moins un des items suivants : (i) la quantité de déchets générés, y compris par l'intermédiaire du réemploi ou de la prolongation de la durée d'usage des substances, matières ou produits ; (ii) les effets nocifs des déchets produits sur l'environnement et la santé humaine ; (iii) la teneur en substances nocives pour l'environnement et la santé humaine dans les substances, matières ou produits* ». [54]

La prévention, qu'elle soit générale ou spécifique, permettrait entre autre une économie de matières et de ressources naturelles, une atténuation des impacts négatifs des déchets sur la santé humaine et environnementale, un évitement des coûts liés à leur gestion. Pour cela, des plans de prévention doivent être élaborés en connaissances des causes. A ce niveau, la primordialité de la caractérisation des déchets est justifiée. Chaque pays, chaque région, chaque communauté devrait disposer d'un plan de prévention des déchets.

En France, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du territoire a adopté en 2004 un Plan National de Prévention des déchets. Il est complété en 2006 par le Plan National de Soutien au Compostage Domestique. La loi du 3 août 2009 (loi Grenelle 1) conforte la priorité à la prévention des déchets qui devra être

renforcée de l'éco-conception du produit à sa fabrication, sa distribution et sa consommation jusqu'à sa fin de vie. Grenelle de l'environnement formule l'objectif de réduire la production d'ordures ménagères et assimilées de 7 % par habitant entre 2009 et 2014 ; réduire globalement de 15 % d'ici 2012 les quantités de déchets envoyés en incinération ou en stockage. Ces plans ont été suivis par une multitude de mesures et d'actions pour leur mise en place concrète, leur suivi, leur évaluation et leur ajustement. [71]

En Belgique, la Région de Bruxelles-Capitale s'est dotée de son 4ème plan des déchets en 2008. Il concerne tous les déchets solides produits en Région bruxelloise par les ménages, les commerces, les industries et toute autre activité économique. Son objectif est de réduire de 50 kg/hab./an les déchets à collecter et à traiter sur la période de validité du plan. Tous les cinq ans, Bruxelles Environnement doit procéder à une évaluation de l'exécution du plan et assurer le suivi des incidences notables sur l'environnement de la mise en route du plan, afin d'identifier notamment, à un stade précoce, les impacts négatifs imprévus et d'être en mesure d'engager les actions correctrices appropriées. [71]

Un adage dit que « *le meilleur déchet est celui qui n'existe pas* » ; cependant, malgré les mesures prises pour limiter la production des déchets, il y a lieu de gérer au mieux les déchets produits. Pour ce faire, la réutilisation, le recyclage et la valorisation qui consistent à utiliser au maximum et le plus longtemps possible les objets, et enfin l'élimination ; seraient les solutions les plus usuelles.

➤ Réutiliser/réemployer

Les termes réutilisation et réemploi sont souvent attribués au deuxième R de la règle des 3R, soit séparément, soit conjointement ; selon qu'ils ont la même signification ou non.

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement français définit le réemploi comme « *toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus* ». C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Ce même article définit la réutilisation comme « *toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau* ».

La différence réside dans le fait que dans la réutilisation, on ait un produit différent du produit initial et dont l'usage diffère également de l'usage initial ; alors que dans le réemploi, le produit est le même dans son identité et son usage. Puisque dans le réemploi le produit n'est pas encore un déchet, il s'agit d'un acte préventif. Tandis que dans la réutilisation, comme le produit est déjà un déchet, il s'agit d'un acte curatif, donc de la gestion.

Cependant, pour les belges wallons, la réutilisation ou le réemploi est « *toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus* ». Dans cette définition, les termes peuvent être utilisés alternativement, et l'usage des produits ou des composants reste identique à leur ancien usage. La réutilisation et le réemploi sont des actes préventifs, pour lesquels les produits, matières et substances n'ont pas encore le statut de déchet.

Dans tous les cas, la réutilisation/réemploi vise l'utilisation maximale et prolongée des produits en tant que tels, ou après avoir subi des réparations ou des ajustements mineurs. Cela concerne généralement des catégories d'objets bien ciblées ; selon la valeur et l'intérêt que ces objets représentent pour leurs détenteurs initiaux et/ou finaux.

➤ Recycler

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement français définit le recyclage comme « *toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage* ». [54]

Dans le recyclage, le déchet devient une ressource donc, une matière première qui est transformée pour la production de nouveaux produits. La réutilisation est une opération de recyclage, qui lui-même est un mode de traitement des déchets. Le recyclage concerne la matière organique, les huiles et autres fluides, et de plus en plus les déchets d'emballage (plastiques, papiers/cartons, verres, métaux, bois, etc.), pour lesquels la Belgique est le leader européen.

- **Le compostage** est un procédé biologique contrôlé qui permet, sous l'action d'organismes aérobies (bactéries, champignons et pédofaune), la dégradation accélérée de déchets organiques en un produit hygiénisé et stable, utilisable pour amender les sols : le compost. Différents critères doivent être respectés pour être dans les conditions optimales pour la réalisation du compostage et l'obtention d'un produit valable. Parmi ces critères, on distingue : (i) la teneur en eau des matières à composter (**50 % < humidité < 70 %**) ; (ii) le rapport C/N (**20 < C/N < 40**) ; (iii) une **bonne aération** de l'ensemble des matières mises en œuvre. Afin d'obtenir un compost homogène et de bonne composition, les étapes à suivre sont : la préparation de la matière (mélange, broyage, disposition dans l'unité de compostage) ; les retournements et le criblage (tamisage). [56]

Deux phénomènes se succèdent dans un processus de compostage et diffèrent de par les matières transformées, les organismes qui interviennent, les conditions du milieu et les produits obtenus. Ce sont : (i) une dégradation aérobie intense qui consiste en la décomposition de la matière organique fraîche à haute température (50 à 70 °C) sous l'action de bactéries, et (ii) la maturation qui consiste en une dégradation moins soutenue qui va transformer le compost frais en un compost mûr, riche en humus. Ce phénomène de maturation, qui se passe à température plus basse (35 à 45 °C), conduit à la biosynthèse de composés humiques par des champignons.

Le compostage est un mode de traitement de la fraction organique des déchets municipaux largement pratiqué, soit de façon artisanale (individuellement ou en communauté), soit de façon industrielle. Malgré la rareté de chiffres clairs sur le compostage artisanal, ses impacts peuvent être visibles sur la diminution de la fraction

organique des déchets collectés. Cependant, les chiffres sur le compostage industriel en Europe sont disponibles. Comme exemple, il était recensé 518 installations de compostage en fonctionnement en France en 2008, avec une capacité de traitement comprise entre 1000 tonnes/an et 100 000 tonnes/an. Entre 5,5 et 6 millions de tonnes de déchets traités chaque année par combustion, et transformées en environ 1,8 million de tonnes de compost. [73]. En 2011 dans l'Europe des 27, la part moyenne du compostage dans le traitement des déchets municipaux était de 15 %. Le leader étant l'Autriche, où 34 % des déchets municipaux collectés sont compostés, suivi par les Pays-Bas (28 %), la Belgique et le Luxembourg (20 %), la France (18%). [64]

En Afrique, en plus d'expériences sur le compostage artisanal menées dans une multitude de localités, des projets novateurs sur le compostage industriel aux crédits carbone sont portés par des développeurs et trouvent très souvent leurs financements dans des programmes de coopération Nord-Sud. C'est le cas du Projet Africompost : *Valorisation des déchets organiques municipaux en compost, pour améliorer la gestion des déchets et développer l'agriculture locale périurbaine dans 6 villes d'Afrique*. Financé par l'Agence Française de Développement (AFD), les Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFDM) et la Fondation Goodplanet ; ce projet prévoyait le traitement de 70 000 tonnes de déchets par an afin de contribuer à l'assainissement des villes concernées et d'éviter l'émission de 900 000 tonnes équivalent CO₂ en 10 ans à compter de 2011, date de lancement. Les travaux intéressants sur le compostage au Bénin, menés par le centre Songhaï, pourraient nous donner d'envisager ce traitement pour la fraction organique des déchets émis à Bembéréké.

- **La régénération** est une opération basée sur des procédés de raffinage d'un fluide ou d'un solide, impliquant l'extraction de la fraction polluante ou indésirable contenue dans le déchet. Elle s'applique aux huiles, solvants, gaz fluorés, plastiques, catalyseurs, etc. On distingue la régénération par filtration, la déshydratation sous vide et le raffinage du pétrole parmi ses modalités. [54]

Si les performances des activités de recyclage peuvent être mesurées dans les pays industrialisés, c'est probablement grâce aux politiques et stratégies mises en place, au recensement de l'ensemble des filières existantes qui eux, sont défaillants dans les PED. Ainsi, les activités de recyclage existent sur le terrain mais, de la récupération à la transformation, elles demeurent majoritairement informelles. Cependant, elles génèrent des emplois et des revenus constants ; malgré les risques élevés encourus par les enfants et les femmes qui se livrent majoritairement à la récupération.

➤ Valoriser

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement français définit la valorisation comme « toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets ».

Au sens de la directive cadre 2008/98/CE, les « *autres modes de valorisation* » précisés dans la hiérarchie de traitement des déchets comprennent la valorisation énergétique et une partie de la valorisation matière (le remblaiement, la conversion pour l'utilisation comme combustible, la transformation d'huile alimentaire usagée en carburant...).

- **Les combustibles solides de récupération (CSR)** sont des déchets solides (bois, certains plastiques, papiers, cartons, tissus, refus de tri de collecte sélective, déchets non fermentescibles, etc.), broyés de telle sorte à pouvoir être consommés dans des installations de co-incinération. La filière suscite un intérêt croissant de nos jours compte tenu des enjeux énergétiques. L'exutoire principal de ces combustibles est l'industrie cimentière pour laquelle la facture énergétique représenterait la moitié des coûts. Ainsi en Allemagne, 2 millions de tonnes par an de ces combustibles solides de récupération seraient brûlés en cimenterie ; contre 100 000 tonnes en France où le potentiel serait évalué à plusieurs millions de tonnes par an. [59]
- **Le remblaiement** est un terme utilisé pour désigner la valorisation des déchets inertes (dans le cas de leur élimination, on parlerait de mise en décharge). Ces déchets inertes dans ce cas remplissent une fonction utile de substitution à d'autres matériaux. L'utilité du remblaiement doit donc être prouvée et les déchets inertes en sont une alternative dans le sens où leur défaut ne limite pas l'opération ou l'objectif.

La valorisation énergétique inclut l'incinération avec récupération d'énergie sous forme de chaleur et/ou d'électricité, la récupération de biogaz des décharges et la méthanisation des déchets organiques et des boues des STEP.

- **L'incinération avec récupération d'énergie** consiste en la combustion des déchets et en la récupération de l'énergie sous forme de chaleur et/ou d'électricité. Une installation d'incinération comporte 3 zones parmi lesquelles : (i) un hall de réception et une fosse permettant l'homogénéisation des produits et l'alimentation de l'installation ; (ii) un four fonctionnant préférentiellement grâce au seul pouvoir calorifique des déchets et dans lequel les déchets subissent une décomposition par la chaleur produisant ainsi des gaz combustibles brûlés dans une chambre de postcombustion à 800-900 °C ; (iii) une chaudière dans laquelle circule un fluide caloporteur (l'eau en général) pouvant récupérer la chaleur des fumées issues de la combustion et la valoriser.

En 2010, l'Allemagne est le leader européen non seulement de la production énergétique à partir de l'incinération des biodéchets avec 2045,5 ktep ; mais également leader de la production brute d'électricité à partir de la combustion des déchets municipaux renouvelables avec 4166 GWh, et leader de la fourniture de la chaleur aux réseaux avec 525 ktep.

L'Afrique se met également à la production d'électricité à partir de déchets ménagers. En 2010, la première unité africaine de production d'énergie électrique à base de déchets domestiques a été lancée à Ifrane (Maroc).

- **La bio méthanisation ou fermentation méthanique** est un ensemble d'opérations de dégradation des matières organiques en l'absence d'oxygène. On distingue successivement l'hydrolyse (transformation des matières organiques complexes en molécules plus simples) ; la fermentation (transformation des molécules simples obtenues après hydrolyse en hydrogène et en acides gras volatils) ; l'acétogénèse (transformation des acides gras volatils en acide acétique, hydrogène et dioxyde de carbone) ; et la méthanogénèse (transformation de l'acide acétique et de l'hydrogène en méthane et dioxyde de carbone). Pour ce faire, deux groupes de bactéries anaérobies interviennent. Ce sont les acétogènes, responsables de la transformation de molécules de matière organique en acides gras volatils, principalement en acide acétique ; et les méthanogènes responsables de la gazéification. Les produits obtenus au terme de ces opérations sont le biogaz et le digestat (substrat digéré). Le biogaz est un mélange gazeux constitué de méthane (CH₄ : 50-80 %), dioxyde de carbone (CO₂ : 15-45 %), vapeur d'eau (H₂O : 5 %), et sulfure d'hydrogène H₂S (0-2 %). Le biogaz peut faire l'objet d'une valorisation énergétique sous forme de carburant, de chaleur et/ou d'électricité. Une tonne de déchets produirait de l'ordre 150 Nm³ de biogaz. Le pouvoir calorifique de 1 Nm³ de biogaz comprenant 60 % de méthane vaut environ 22 MJ et est équivalent du point de vue énergétique à celui de 0,56 l de mazout ; 0,65 l de fuel ; 0,21 m³ de propane et 0,7 kg de charbon. [67]

Dans les PED la bio méthanisation avec récupération d'énergie n'est pas nouvelle mais elle est encore majoritairement au stade expérimental. Pourtant face aux besoins criants en termes d'assainissement et d'approvisionnement énergétique dans ces pays, la bio méthanisation contrôlée peut s'avérer efficace. En effet, Monzambe en 2002 concluait que dans les pays en voie de développement, comme la RDC, où les réseaux de distribution d'énergie (électricité, carburant) sont peu développés ou pas suffisamment fiables, là où la déforestation autour des centres urbains menace l'équilibre écologique, là où les déchets municipaux posent de sérieuses difficultés de gestion, la biotechnologie méthanigène de différents résidus agricoles et municipaux peut satisfaire les besoins énergétiques domestiques (cuisson, éclairage) et la petite motorisation (meunerie, réfrigération, pompage, carburant de voitures, etc.). [68]

- **La récupération du biogaz de décharge** : la formation du biogaz est un phénomène naturel également observé spontanément dans les décharges contenant des matières fermentescibles. Le biogaz par son composant principal, le méthane, constitue un puissant gaz à effet de serre, s'il est relâché dans l'atmosphère. Sa récupération constitue donc un enjeu majeur pour la lutte contre le réchauffement climatique. Sa valorisation énergétique est d'autant plus avantageuse que sa simple combustion conduit à la transformation du méthane contenu dans le biogaz en dioxyde de carbone de moindre impact sur le réchauffement climatique.

L'Afrique est encore à la traîne, la valorisation énergétique du biogaz progresse dans l'Union européenne (UE) tant sur le plan de la production d'électricité que sur celui de la consommation de chaleur biogaz.

Ainsi, dans l'Union Européenne 10 Mtep d'énergie primaire biogaz et 36 TWh d'électricité biogaz étaient produits en 2011. De telle sorte que la part du biogaz de décharge dans la production totale de biogaz dans l'UE en 2011 est de 31 % ; avec une augmentation de l'électricité biogaz dans l'UE entre 2010 et 2011 de 18 %. [63]

Ainsi, les déchets peuvent constituer d'une part une matière première secondaire pour la fabrication de nouveaux produits et d'autre part, une source d'énergie. Leur valorisation contribuerait à une économie considérable de ressources naturelles et de combustibles fossiles, et limiterait les quantités de déchets à éliminer ainsi que le réchauffement climatique. La valorisation potentiellement envisageable à Bembéréké est une valorisation matière.

➤ Éliminer

L'Article L. 541-1-1 du code de l'environnement français définit l'élimination comme « *toute opération qui n'est pas de la valorisation même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie* ».

L'élimination est l'étape ultime du traitement des déchets, elle devrait intervenir quand toutes les possibilités de recyclage ont été explorées. Son but premier est de se débarrasser des déchets, elle doit se faire dans des conditions respectueuses de la santé humaine et de l'environnement. Les principales modalités d'élimination des déchets sont l'incinération et le stockage.

- **L'incinération** est une méthode de traitement thermique des déchets qui consiste en une combustion (technologie et température variant selon la nature du déchet) et un traitement des fumées. L'incinération consiste en une décomposition de la matière (oxydation) avec cinq types d'émissions : (i) eau ; (ii) gaz, parmi lesquels CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl, etc. ; (iii) poussière minérale ou cendres ; (iv) métaux lourds, dont : plomb, cuivre, mercure, cadmium, nickel, arsenic ; (v) molécules organiques, dont : carbone, composés organiques chlorés (dioxines et furannes, ...).

En Europe, en raison des risques énormes sur la santé et l'environnement, liés aux émissions générées, cette option est devenue controversée. Toutefois, dans l'Union Européenne, l'incinération est pratiquée à 23 % pour le traitement des déchets municipaux en 2011. En Belgique sa part dans le traitement des déchets municipaux est de 42 % ; tandis qu'en France et en Allemagne elle est de 35 % et 37 %, respectivement. A la tête du classement on retrouve la Norvège, le Danemark, la Suède et la Suisse ; où l'on fait recours à l'incinération à plus de 50%. [64]

En Afrique, malheureusement est encore pratiquée l'incinération sauvage des déchets ménagers (brûlage des déchets ou des tas d'immondices à l'air libre), face à l'absence ou à l'insuffisance de services de gestion de déchets. La proportion de plus en plus importante des plastiques dans ces déchets aggravent la problématique de leur incinération sauvage. En effet, l'incinération, lorsqu'elle n'est pas effectuée à une température suffisante engendre des PCB, qui peuvent ensuite conduire à des dioxines. C'est ainsi qu'à Bembéréké en 2006, 21 % des décès étaient dus aux infections respiratoires ; contre 23 % dus au paludisme.

En 2008 à Banconi, un district de Bamako (Mali), les infections respiratoires étaient responsables de 29 % des consultations ; contre 42 % pour le paludisme. [10]. Tandis qu'entre 2006 et 2008 à Dédougou (Burkina Faso), les maladies respiratoires représentaient 17 % des maladies déclarées ; contre 38 % pour le paludisme. La contribution de l'incinération sauvage des déchets à la pollution de l'air n'est pas certes quantifiée, mais reconnue tout comme celle des gaz d'échappement des moyens de transport, des poussières des routes non bitumées, des fumées des grilles de viande et de poisson, de la combustion du bois de chauffe, des émissions des industries, et des feux de brousse. [69]

L'incinération est considérée comme une élimination lorsqu'il n'y a ni récupération et valorisation d'énergie, et/ou ni récupération et valorisation des mâchefers (revente des métaux, construction routière) et des REFIOM (vitrification par des torches à plasma).

- **Le stockage (mise en décharge)** est l'opération d'élimination ultime des déchets. Il concerne la fraction des déchets qui ne peut pas être valorisée par réemploi ou recyclage dans des conditions techniques et économiques du moment. Il y aura cependant toujours des déchets ultimes que l'on ne peut ni récupérer, ni recycler, ni valoriser ; mais, l'appréciation du caractère ultime des déchets est opérée au niveau des territoires couverts par les plans d'élimination des déchets.

Quoique le stockage des déchets soit incontournable pour boucler le cycle de vie d'un produit, du fait du développement d'une multitude de processus dans les décharges, celles-ci devraient être considérées comme des bioréacteurs à gérer. On y distingue des processus physiques (transport, écoulement, diffusion, etc.), des processus chimiques (hydrolyse, dissolution, précipitation, sorption, désorption, échange d'ions, etc.) et des processus biologiques (aérobie et anaérobie). [77]

Ces processus génèrent des nuisances parmi lesquelles : (i) les nuisances olfactives par des émanations d'odeurs malodorantes pour les riverains ; (ii) la génération de lixiviats ou jus de décharge à caractère toxique provenant de la décomposition des déchets ; (iii) les émanations de gaz, dont certains à caractère nocif comme l'acide fluorhydrique, l'acide sulfurique, le chlorure d'hydrogène, etc. ; (iv) les nuisances sonores pour les riverains, par augmentation du trafic routier.

A côté de ces nuisances, il y est produit du biogaz qui lui, devrait faire l'objet d'une récupération pour une valorisation énergétique ou tout simplement être brûlé pour limiter son impact sur le réchauffement climatique.

Le stockage a longtemps été en Europe le principal mode d'élimination des déchets, mais de nos jours, on y a recours de moins en moins. En effet, en 2011 dans l'Union Européenne, la mise en décharge représentait en moyenne 37 % du traitement des déchets municipaux. En Suisse, les déchets ne sont plus mis en décharge (0 %) ; en Allemagne, Belgique, Pays-Bas et en Suède, la mise en décharge représente 1 % dans le traitement des déchets. [64]

Les centres de stockage de déchets, anciennement appelés décharges ou centres d'enfouissement technique, sont de trois types : (i) les centres de stockage des déchets de type I, pour les déchets industriels dangereux ; (ii) les centres de stockage des déchets de type II, pour les déchets ménagers et assimilés ; (iii) les centres de stockage de type III, pour les déchets inertes.

Le stockage ou la mise en décharge est presque toujours la seule voie envisagée pour l'élimination des ordures ménagères dans les PED. En effet, plus de 90 % des déchets qui y sont récoltés ont pour issue ultime la décharge. Les techniques d'incinération, compostage, bio méthanisation, etc. ont parfois été utilisées sans toutefois répondre aux besoins à long terme, notamment en terme de durabilité des techniques utilisées et des financements nécessaires. [77]

Les exigences sanitaires et environnementales actuelles, couplées aux enjeux énergétiques et à la préservation des ressources naturelles, maintiennent floue la commutativité de la limite (spatiale, temporelle et morale), entre la matière polluante et la matière valorisable que peut constituer un déchet. La recherche d'une politique de traitement optimal des déchets ménagers (valorisation et élimination), intègre idéalement la combinaison de plusieurs techniques, hiérarchisées selon les objectifs fixés et consignées dans un plan d'action dont la portée se doit d'être spécifiée. Du fait qu'ils devraient prendre en compte l'estimation des gisements, la typologie des déchets, les contraintes et les spécificités diverses, les plans et stratégies de traitement se définiraient judicieusement au niveau local ; tout en s'intégrant ou se référant à une politique plus globale.

b) Politique de la commune de Bembéréké

La politique nationale d'assainissement au Bénin, en son décret n°2003-332 du 27 août 2003 portant sur la gestion des déchets solides, s'intéresse entre autres à la prévention et la limitation des déchets et de leur nocivité lors de la production et de la gestion, en mettant un accent particulier sur la promotion de leur valorisation. [16]. De cela, il ressort encore la règle des 3R, étant donné que la prévention et la limitation quantitative et qualitative des productions des déchets renvoient directement au terme général « Réduction » et que la valorisation des déchets renferme aussi bien les diverses modalités de leur « Réutilisation » et de leur « Recyclage ». Bien que les lois sur la décentralisation reconnaissent que pour la gestion des déchets, un partage clair des rôles, des responsabilités et des ressources entre les acteurs des trois niveaux (central, régional et municipal), est essentiel [1], elles relèvent que la conduite de la filière de gestion doit être avant tout locale. Le déchet, loin d'être une nuisance, devrait alors être considéré comme une ressource dont la gestion crée des emplois et des revenus. [35]

Les autorités locales de Bembéréké dans leur projet de mise en place d'une filière de gestion des déchets émis dans cette localité, ont énuméré en accord avec la politique nationale d'assainissement au Bénin, comme objectifs spécifiques assignés à ce projet : (i) la réduction des volumes de pré collecte, (ii) l'élimination rapide des déchets du cadre de vie des habitants et (iii) le recyclage partiel.

➤ Réduire

La réduction envisagée de la production des déchets à Bembéréké concerne son aspect quantitatif et est spécifique aux gravats/fines. En effet, cette catégorie représente plus de la moitié de la masse totale des déchets ménagers qui y sont produits. Sa réduction allègerait énormément les poubelles des ménages et réduirait sensiblement les quantités de déchets à collecter. Les autorités communales soutiennent le fait que si la production de cette catégorie est évitée au maximum, au niveau des ménages, la production globale des déchets ménagers à Bembéréké pourrait être réduite de 50 %. Les actions à entreprendre regroupent des animations, des médiatisations, des sensibilisations, des formations et des actions pilotes sur les techniques de balayage permettant d'éviter au mieux l'arrachage, le soulèvement et l'emportement des particules de sol.

Une fois la réduction des gravats/fines amorcée, il resterait alors à assurer le recyclage des catégories potentiellement recyclables et l'élimination spécifique des catégories résiduelles.

➤ Recycler

Pour les gestionnaires des déchets à Bembéréké, le recyclage du contenu des poubelles ménagères concernerait principalement la matière organique et les plastiques (sachets noirs et transparents). Le recyclage envisagé se limite à ces deux catégories pour le simple fait qu'il existe à Bembéréké des réseaux/filières informels de recyclage qui s'intéressent aux métaux, verres et plastiques durs. La récupération se fait directement au niveau des ménages contre une compensation monétaire et au niveau des dépotoirs sauvages par les enfants, les femmes et les recycleurs eux-mêmes. Ces objets/matières alimentent des activités communautaires, l'artisanat local et parfois des structures plus importantes. Le recyclage consisterait à produire le compost à partir de la matière organique ; et à fabriquer des pavés à partir des sachets plastiques. Ainsi, la matière organique compostée à 50 % en 2010, puis à 80 % en 2011 et les sachets plastiques transformés en pavés, réduiront encore de manière notable les déchets à éliminer.

➤ Éliminer

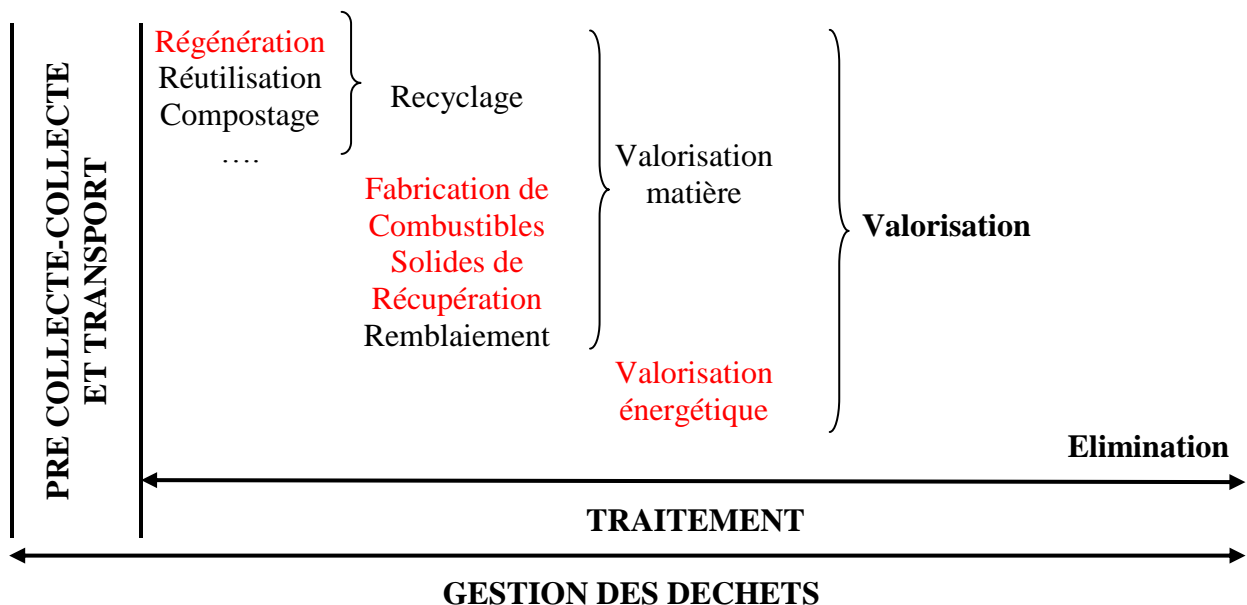
L'élimination des déchets ménagers à Bembéréké reprendrait toutes les activités de collecte et d'évacuation des déchets produits par les habitants, le plus rapidement possible de leur cadre de vie ; l'élimination des fractions résiduelles n'ayant pas pu être évitées ou valorisées ; et l'élimination spécifique des piles. Cette catégorie jugée problématique par les autorités communales de par sa production sans cesse croissante et les métaux lourds susceptibles d'être émis dans la nature ; ne trouve pas encore de solution de reprise ou de récupération adéquate au Bénin.

Les déchets ménagers émis, désormais ressource et/ou nuisance à la charge des autorités locales, devraient donc faire l'objet d'une gestion. Une fois les politiques et principes de leur gestion définis, les activités s'articulent autour d'un certain nombre de phases précises successives et complémentaires constituant ainsi, les principales étapes de la gestion des déchets.

3.1.2. Principales étapes de la gestion des déchets ménagers

La gestion des déchets ménagers est l'ensemble des opérations qui permettent la prise en charge de toute substance, toute matière ou tout produit devenu « *déchet* ». La prévention, y compris le réemploi ne sont pas des opérations de gestion. Dans la gestion des déchets on distingue alors la pré-collecte, la collecte-transport et le traitement. Le traitement des déchets comprend toutes les opérations de valorisation, donc la valorisation énergétique et la valorisation matière (recyclage, fabrication de combustibles solides de récupération, remblaiement) ; et toutes les modalités d'élimination (incinération, stockage). Le tableau suivant reprend les principales étapes de la gestion des déchets ; avec en rouge ce qui n'est actuellement pas réalisable à Bembéréké.

Tableau 29 : principales étapes de la gestion des déchets ménagers (source : Andrieu *et al.*, 2012)



Entre l'amont (prévention) et l'aval (traitement) de la production des déchets, il existe une étape intermédiaire constituée de la pré-collecte et/ou de la collecte/transport. Dans la section précédente, nous avons essayé de passer en revue les notions de prévention et de traitement des déchets, tout en survolant quelques-unes de leurs modalités opérationnelles ; maintenant, attardons nous sur la pré-collecte, la collecte et le transport des déchets ménagers.

a) La pré-collecte

C'est l'ensemble des opérations d'évacuation des déchets depuis leur lieu de production jusqu'au lieu de prise en charge par le service de collecte.

Il s'agit d'une collecte primaire des ordures et de leur évacuation des habitations ou commerces vers des lieux de transit (regroupement), où elles seront reprises par le service de collecte et transport vers les sites de traitement. Elle permettrait de regrouper les ordures en vue de faciliter et d'améliorer leur collecte.

Cette étape s'est souvent révélée indispensable pour palier aux insuffisances des services de collecte et aux obstacles que rencontrent les services de collecte pour la desserte des secteurs d'accès difficiles et précaires.

Elle se traduit généralement par l'aménagement des points de regroupement ou d'entreposage intermédiaire des déchets, constitués et équipés de contenants à cet effet. Ces installations sont alimentées de déchets provenant directement des ménages/commerces ; soit par apport volontaire, soit par des structures opérant porte-à-porte. Parmi les opérateurs du porte-à-porte, on distingue les services communaux, les opérateurs locaux, des Groupements d'Intérêt Economique (GIE), les organisations et associations de quartier, des entreprises, ou encore des ONG.

La pré-collecte peut concerner tous les déchets ménagers et assimilés, ou cibler uniquement des catégories spécifiques telles que le verre, les plastiques, les huiles usagées, les textiles (bulles), les encombrants (déchetteries), autres déchets ménagers (parcs à conteneurs).

b) La collecte et le transport

La collecte des déchets est l'opération consistant en l'enlèvement des déchets du lieu de leur production et/ou des points de transit, de regroupement et des centres de tri pour les acheminer vers un lieu de traitement. Elle se fait selon deux principales modalités : (i) la collecte unique, (ii) la collecte sélective.

- La collecte unique (en vrac, en mélange) : Son principe est simple, un seul contenant et un seul véhicule de collecte pour tous les déchets.

Cette formule minimise les frais de collecte par sa rapidité qui réduirait les coûts de main-d'œuvre et les autres coûts d'exploitation ; par son efficacité qui réduirait la taille du parc de véhicules nécessaire, en plus de ne pas exiger de véhicules spécialisés. Elle convient bien aux grands centres urbains, où la densité de population et la circulation automobile sont élevées, puisque la formule réduit considérablement le temps de collecte. Le système est plus pratique pour les citoyens, ce qui se traduit habituellement par une augmentation de la quantité de matières récupérées.

Lorsqu'il est envisagé, tout le tri est effectué à l'installation de traitement. Le principal inconvénient de la formule est que l'installation de traitement doit être en mesure de séparer toutes les matières. Cette contrainte augmenterait donc considérablement les coûts de traitement. La qualité des matières obtenues par les traitements appliqués aux déchets collectés en vrac serait moindre et moins appréciée par les éventuels recycleurs. En effet, les risques de contamination croisée sont également plus élevés et les taux de résidus sont par ailleurs plus élevés.

Cependant, cette approche gagne en popularité car, en raison des progrès et innovations enregistrés dans les techniques de traitement. En plus, la minimisation du temps de collecte et des coûts connexes est un argument de taille pour son choix, quand on sait que les frais de collecte et de transport constituent une part importante dans le coût de la gestion des déchets.

Ce mode de collecte reste pratiqué, mais dans un souci d'efficacité de la valorisation, la collecte sélective a été mise en place.

- La collecte sélective ou séparative est une collecte de certains déchets, préalablement triés selon leur matière constitutive, en vue d'un traitement spécifique (généralement pour être valorisés). [51]. La valorisation est donc l'enjeu principal de la collecte sélective. Le privilège est accordé aux matériaux, substances et produits, pour lesquels la garantie de reprise et de valorisation optimale repose sur leur « *homogénéité* » et leur « *propreté* ». Un autre enjeu de la collecte sélective est la résolution des problèmes causés par certains modes de traitement dans lesquels il est préférable ou impératif d'éviter la présence de certaines catégories de déchets. Parmi ses avantages, on lui reconnaît de préserver au mieux les matières commercialisables ; de réduire les exigences de traitement et de réintroduire rapidement les matières dans les processus de production ; de minimiser et simplifier les coûts de traitement ; d'augmenter la qualité des produits obtenus ; d'impliquer et responsabiliser les producteurs dans la gestion lorsque le tri est effectué à la source.

Les déchets concernés par la collecte sélective sont essentiellement les matériaux recyclables "propres et secs" (verre, papiers, cartons, journaux et magazines, plastiques, métaux) ; les déchets végétaux ; les huiles usagées ; les piles ; les textiles ; les encombrants ; etc.

Le choix d'un type de collecte est lié à une diversité de facteurs parmi lesquels les caractéristiques des déchets, les objectifs de leur gestion (traitements envisagés), les dispositions légales et réglementaires, les conditions socio-économiques, les contraintes et spécificités locales, etc.

A propos de l'efficacité de la collecte, de façon absolue, un taux de collecte < 75 % est un signe d'inefficacité, parce que préjudiciable à l'environnement et à la santé des hommes. [75] De façon relative, un taux de croissance moyen de quantités collectées < au taux de croissance moyen des quantités produites est également un signe d'inefficacité, car cela traduit que les quantités de déchets produits évoluent plus vite que les quantités collectées. [75]

c) Evolution de la gestion des déchets

En Europe, les deux modes de collecte existent mais dans les pays où la technologie est plus avancée, il est observé une diminution de la pratique de la collecte unique au profit de la collecte sélective ; sans pour autant la remplacer. C'est par exemple le cas de la Wallonie en Belgique, où entre 2000 et 2008, la collecte en vrac des déchets ménagers est passée de 42 % à 32 %, tandis que la collecte sélective y est passée de 58 % à 68 % ; grâce notamment à une croissance de la collecte en parcs à conteneurs qui y est passée de 40 % à 50 %. [61]

Cette évolution des modes de collecte en Europe a été concomitante à une évolution générale des politiques de gestion des déchets municipaux. Ainsi, on a pu noter :

- ***Jusqu'aux années 1980*** : le service public assurait une gestion simplifiée afin de répondre aux risques et exigences sanitaires. Les collectivités étaient indépendantes et

les déchets collectés en vrac étaient traités par mono filière (mise en décharge notamment). A cette époque, l'implication du public est faible ;

- ***Dans les années 1990*** : la gestion devient complexe par souci environnemental. L'intercommunalité, la privatisation et la collecte sélective font leur apparition dans la gestion des déchets. On assiste à une multiplicité de filières complémentaires de traitement et à une augmentation des coûts de gestion ;
- ***A partir des années 2000*** : la notion de développement durable, la santé, la préservation des ressources et les changements climatiques deviennent des préoccupations majeures qui vont orienter les états et les gestionnaires vers une complexification encore plus poussée de la gestion des déchets. La réglementation européenne intervient à ce stade afin d'harmoniser et de mieux cadrer les politiques de gestion. L'incitation à la prévention et au recyclage devenue la principale stratégie, les producteurs sont de plus en plus impliqués dans la gestion ; les traitements, de plus complexifiés et des filières spécifiques apparaissent. [70]

En Afrique subtropicale, la collecte des déchets ménagers est essentiellement une collecte en vrac. Bien que le traitement des déchets ménagers collectés se résume majoritairement à la mise en décharge jusqu'à nos jours, il a pu être observé deux périodes dans l'histoire de la gestion des déchets dans la région. Ces périodes sont marquées par des systèmes de gestion de déchets axés essentiellement sur la pré-collecte, la collecte et l'évacuation des déchets émis loin des habitations et de l'espace urbain. Ainsi, on distingue :

- ***La période post coloniale (1960-1980)*** : L'ordure ménagère est considérée comme une nuisance. Sa gestion se fait selon une approche centralisée, sectorielle, techniciste, mimétique et formelle. Les régies municipales et d'autres services publics étaient les principaux acteurs stratégiques. C'est donc un système conventionnel, desservant uniquement les populations situées le long des grandes artères de la ville, au moyen de gros matériels roulants hérités de la colonisation. Ce système se limitant uniquement aux endroits visibles et accessibles de la ville n'a pu combler les attentes en termes de durabilité et d'appropriation locale mais surtout, en termes d'efficacité et d'efficience dans un contexte de crise des finances publiques. En outre, son orientation centralisée et techniciste demeure porteuse d'une ségrégation spatiale dans l'accès aux services publics locaux tout en favorisant la déresponsabilisation et l'attentisme des populations dans l'amélioration de leur cadre de vie. [29]

Les limites du système conventionnel de gestion des déchets et l'effritement du service public à la fin des années 1980, combinés à l'expression du malaise urbain et aux besoins de plus en plus croissants en matière de salubrité d'une population marginalisée, de plus en plus nombreuse, occupant anarchiquement et spontanément les espaces urbains et périurbains disponibles ; ont contribué à la floraison d'initiatives populaires compensatoires. Ces initiatives qui relevaient du volontariat utilitaire, témoignant d'un mouvement de contestation populaire sanctionnant l'échec des politiques de développement, ont fini par convaincre les élus locaux de la nécessité de changer de mode de gestion des ordures ménagères.

Ces initiatives ont contribué positivement à crédibiliser l'idée selon laquelle, le transfert d'une partie de la gestion des ordures ménagères à des groupes sociaux déjà structurés et ayant un ancrage territorial, notamment dans les quartiers inaccessibles à la régie municipale, pourrait constituer une solution efficace, efficiente et durable au risque bactériologique et sociopolitique que constituait la problématique des ordures ménagères en milieu urbain. [29]

- *Dans les années 1990* : l'ordure ménagère est considérée comme une ressource locale dans un processus d'écologie urbaine. La gestion est faite au sein des partenariats, selon le principe de subsidiarité où sont combinés les matériels roulants lourds et ceux à traction animale et humaine. En plus des régies municipales et des sociétés parapubliques comme acteurs ; nous avons les sociétés privées, des groupes socio-économiques et les habitants. C'est donc un système de gestion partagé, desservant les populations situées le long des grandes artères de la ville mais aussi, les populations des quartiers défavorisés inaccessibles. Il est donc noté, un élargissement du cercle des acteurs avec au centre la population comme actrice à l'amélioration de son cadre de vie ; une ségrégation positive au profit des quartiers défavorisés, périurbains ou à occupation anarchique ; une valorisation de la ressource humaine et l'utilisation des moyens techniques légers et adaptés ; un changement de regard sur les déchets. [29]

Cependant, si la qualité du service progresse dans les PED, les autorités locales offrent rarement une couverture universelle de service et des conditions sanitaires d'élimination des déchets satisfaisantes. La priorité des autorités locales porte généralement plus sur la collecte que sur le traitement, un choix guidé à la fois par la volonté d'offrir aux habitants un cadre de vie salubre et sûr, mais aussi par des considérations électoralistes. Le taux de couverture de la collecte s'élève en moyenne à 41 % dans les pays à faible revenu et à 85 % dans les pays de revenu moyen à élevé. Mais il peut descendre jusqu'à 10 % à Parakou, au Bénin. De fait, la gestion publique laisse peu à peu la place à une gestion privée, tout particulièrement dans la collecte des déchets. L'enjeu est désormais de les doter des capacités nécessaires pour préparer et négocier les contrats, et d'en contrôler l'exécution. [66]

Après ce rapide survol des bases de la gestion des déchets solides ; il ressort que la politique et les objectifs de gestion de déchets de la commune de Bembéréké rejoignent bien le canevas général de la gestion des déchets. Quoique, l'applicabilité de la valorisation énergétique, ainsi que de certaines modalités de valorisation matière (régénération, fabrication de combustibles solides de récupération, ...) reste limitée ; la gestion projetée devrait en plus d'être une réponse aux exigences et risques sanitaires locaux, contribuer à la résolution des préoccupations globales majeures (développement durable, changement climatique, préservation des ressources, ...). Ainsi, le développement des mécanismes de prévention, des modalités de collecte et de traitement efficaces se voudrait cohérent et réaliste.

Rappelons la typologie des déchets solides émis à Bembéréké, afin de mieux scénariser.

3.2. TYPOLOGIE DES DECHETS SOLIDES A BEMBEREKE

3.2.1. Principaux gisements de déchets solides à Bembéréké

A Bembéréké, on distingue 3 gisements principaux constituant les déchets solides à la charge de la mairie. Ce sont les déchets ménagers, les déchets de marchés et les déchets de nettoyage et d'entretien des places publiques et des grandes artères de la ville.

a) *Les déchets ménagers au sens strict*

C'est le gisement le plus important. En effet, à Bembéréké, en 2011, il est produit en moyenne 16,4 tonnes de déchets ménagers chaque jour. Ceci correspondrait à 32,6 m³/j.

Tableau 30 : productions moyennes des déchets ménagers à Bembéréké en 2011

| CATEGORIE | PRODUCTION MASSIQUE | | PRODUCTION VOLUMIQUE | |
|-------------------|---------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| | (kg/j) | (t/an) | (l/j) | (m ³ /an) |
| Plastiques | 526 | 192 | 4 741 | 1 730 |
| Papiers/cartons | 261 | 95 | 2 568 | 937 |
| Tissus/cuirs | 161 | 59 | 862 | 315 |
| Métaux | 146 | 54 | 720 | 263 |
| Caoutchouc | 12 | 4 | 63 | 23 |
| Piles | 46 | 17 | 72 | 26 |
| Verres/céramiques | 61 | 22 | 119 | 43 |
| MO BIO | 6 172 | 2 253 | 15 818 | 5 774 |
| Gravats/fines | 8 981 | 3 278 | 7 599 | 2 774 |
| TOTAL | 16 367 | 5 974 | 32 561 | 11 885 |

b) *Les déchets de marchés*

Moins important que les déchets ménagers, ce gisement est constitué majoritairement de la MO BIO, des gravats/fines, des plastiques et des papiers/cartons.

Tableau 31 : productions moyennes des déchets de marchés à Bembéréké en 2011

| CATEGORIE | PRODUCTION | PRODUCTION |
|---|--------------|--------------|
| | HEBDOMADAIRE | ANNUELLE |
| | (kg/semaine) | (t/an) |
| Plastiques | 82 | 4,3 |
| Papiers/cartons | 132 | 6,9 |
| Tissus/cuirs | 7 | 0,4 |
| Métaux | 2 | 0,1 |
| Caoutchouc | 5 | 0,3 |
| MO BIO | 277 | 14,4 |
| Gravats/fines | 222 | 11,6 |
| TOTAL | 727 | 38 |
| PRODUCTION VOLUMIQUE | | |
| (m ³ /sem. ; m ³ /an) | 2,1 | 111,2 |

c) Les déchets de nettoyage et d'entretien des places publiques et grandes artères de la ville

Ce gisement de déchets n'a pas été caractérisé, mais son importance n'est pas négligeable. Pour la suite des travaux, nous allons lui attribuer les valeurs des déchets de marchés. Sa composition est similaire, sauf qu'il y aurait beaucoup plus de déchets secs et légers (plastiques, papiers, feuilles et herbes mortes, coton et brindilles), par rapport à ceux qu'on retrouve dans les déchets de marchés. Ainsi, en 2011, 38 tonnes de déchets de nettoyage et d'entretien seraient produits à Bembéréké ; soit 111 m³.

Ces trois gisements de déchets constituent l'ensemble des déchets ménagers et assimilés, à la charge de la mairie. Donc, à Bembéréké, il est produit en 2011 en moyenne 6050 tonnes de déchets ménagers et assimilés ; soit 12107 m³. Les déchets ménagers stricts en constituent les 99 % en masse ; et les 98 % en volume. L'hypothèse selon laquelle les déchets ménagers constitueraient plus de 90 % des déchets solides municipaux à Bembéréké, est donc justifiée. Ainsi, en nous focalisant uniquement sur les déchets ménagers, nous ne commettons qu'une erreur minime.

3.2.2. Classification des déchets solides à Bembéréké

La classification des déchets qui suit a été faite selon leur comportement et leurs effets sur l'environnement, lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes. Ainsi, on distingue les déchets organiques (fermentescibles), les combustibles, les déchets inertes et les déchets dangereux.

a) Les déchets organiques (fermentescibles)

Selon le dictionnaire de l'environnement, les déchets fermentescibles sont les résidus d'origine végétale ou animale qui peuvent être dégradés par les micro-organismes pour lesquels ils représentent une source d'alimentation. [78]

Dans les déchets ménagers émis à Bembéréké, ils sont bien représentés car ils constituent 40 % de la production massique et 59 % de la production volumique, respectivement. On y regroupe la MO BIO, les papiers/cartons et les tissus/cuir.

b) Les combustibles

Selon le Larousse, un combustible est une matière capable de brûler au contact de l'oxygène ou d'un gaz contenant de l'oxygène, en produisant une quantité de chaleur utilisable. [79]

Dans les déchets ménagers produits à Bembéréké, ils sont représentés par les plastiques, les papiers/cartons, les tissus/cuir et le caoutchouc. Ils constituent 6 % de la production massique et 25 % de la production volumique.

c) Les déchets inertes

Selon le dictionnaire de l'environnement, les déchets inertes sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique.

Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [80]

Dans les déchets ménagers produits à Bembéréké, ils sont représentés par les verres/céramiques et les gravats/fines, et constituent 55 % de la production massique et 24 % de la production volumique.

d) Les déchets dangereux

Les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle qui représentent un risque pour la santé ou l'environnement et qui nécessitent un traitement adapté. [81]

Dans les déchets ménagers produits à Bembéréké, ils sont représentés par les piles et les métaux.

Tableau 32 : classification des déchets ménagers à Bembéréké, selon leur comportement et leurs effets sur l'environnement

| CLASSE | PRODUCTION MASSIQUE | | PRODUCTION VOLUMIQUE | |
|-----------------|---------------------|----|----------------------|----|
| | Tonnes/an | % | M ³ /an | % |
| Fermentescibles | 2407 | 40 | 7026 | 59 |
| Combustibles | 350 | 6 | 3005 | 25 |
| Inertes | 3300 | 55 | 2817 | 24 |
| Dangereux | 71 | 1 | 289 | 2 |

La production massique des déchets ménagers à Bembéréké est dominée par les éléments inertes et les éléments putrescibles ; tandis que leur production volumique est dominée par les éléments putrescibles, les éléments combustibles et inertes y occupent également une place importante.

La typologie des déchets ménagers émis à Bembéréké ainsi réalisées, essayons de faire l'inventaire des scénarios de gestion possibles.

3.3. ELABORATION DES SCENARIOS DE GESTION DES DECHETS SOLIDES A BEMBEREKE

3.3.1. Inventaire des scénarios élémentaires possibles

Des politiques générales de gestion de déchets solides dans le monde, de la politique nationale d'assainissement au Bénin et de la politique de gestion des déchets de la commune de Bembéréké, il ressort clairement et par ordre de préférence décroissante, les notions suivantes : Prévention-Valorisation-Elimination. Aussi, nos propos suivants ne vont pas faillir à cette expression majoritaire dont chaque terme constitue un scénario élémentaire en matière de gestion des déchets solides. Pour chacun de ces scénarios élémentaires, les définitions, les objectifs et les modalités principales ayant été abordés dans le chapitre 1 de cette partie du document ; évoquons leurs leviers, leurs conditions de faisabilité et leurs impacts respectifs sur les flux de déchets, sur le plan socio-économique et sur le plan environnemental.

a) Scénario 1 : la Prévention

- Objectif : réduire la quantité de déchets produits en général et celle des catégories problématiques en particulier.
- Leviers

A Bembéréké, les leviers pouvant permettre la prévention des déchets solides peuvent se résumer à :

- présenter clairement l'état des lieux sur la salubrité et les objectifs généraux poursuivis en termes d'amélioration des conditions de vie des populations ;
 - présenter les objectifs qualitatifs et quantitatifs de réduction en rapport avec les politiques et stratégies de gestion à la lumière des résultats de caractérisation ;
 - élargir la responsabilité à tous les acteurs de la gestion des déchets et promouvoir les partenariats entre ces divers acteurs afin de les mobiliser et de les faire participer au mieux ;
 - définir les actions réalistes et faciles d'exécution, encourager les initiatives locales et présenter les bienfaits immédiats ou induits de leur mise en œuvre ;
 - sensibiliser de près et convaincre sur la faisabilité et sur la simplicité des actions par des illustrations de réussite concrète d'actions pilotes initiées dans ce cadre et dans les conditions locales similaires ;
 - prévoir une flexibilité et une gradation dans les actions à réaliser afin d'intégrer ou de tenir compte d'éventuels changements.
- Conditions de faisabilité

A Bembéréké, la prévention pourrait être possible et opérationnelle si les conditions suivantes sont remplies :

- une volonté politique manifeste et pérenne plaidant avant tout les causes communes et garantissant l'intérêt général, principalement par l'évitement des impacts négatifs que produit la prévention ;
- une forte implication des populations locales (productrices des déchets) et un soutien/accompagnement des acteurs/promoteurs du développement communautaire ;
- une évolution d'habitudes, de pratiques et d'opinions traditionnelles en rapport avec la production des déchets, et une révision des modes de consommation et d'achat de produits/ressources/matières ;
- une adéquation entre les groupes d'acteurs/publics ciblés, la nature et les supports des campagnes de sensibilisation/animation.

➤ Impacts

En général, la prévention permet de limiter les impacts liés à la gestion des déchets, mais également d'éviter les impacts liés à la production de biens avant qu'ils ne deviennent déchets. Certains dispositifs de prévention, tels que la gestion domestique des déchets ou la remise en état d'objets usagés peuvent également générer des impacts.

- **Impacts sur les flux** : Le principal impact est la diminution des quantités des déchets produits. En effet, tous les déchets produits à Bembéréké sont évitables au niveau des ménages. La prévention peut également avoir des répercussions progressives et favorables sur les différentes étapes de la filière de gestion. La gestion domestique des catégories telles que les gravats/fines et la matière organique biodégradable éviterait le transport et le traitement de plus de 90 % des déchets solides émis à Bembéréké, tandis que le retour des piles usées aux boutiquiers où l'achat des piles rechargeables et la préférence de feuilles végétales et du papier/carton aux plastiques comme emballages permettrait de réduire sensiblement la dangerosité de ces déchets.
- **Impacts socio-économiques** : ce scénario n'est pas favorable aux emplois liés à la collecte, à l'investissement et au fonctionnement des installations de traitement des déchets. Cependant, il produit d'autres emplois en matière de sensibilisation, de réparation/maintenance ; il peut soutenir le retour aux produits naturels et locaux (facteur d'économie sociale notable).

La prévention limiterait les dépenses liées à la gestion des déchets, notamment celles liées à la collecte et au transport, qui occupent une part substantielle dans les coûts de gestion des déchets, généralement supportés par les ménages.

- **Impacts environnementaux et sanitaires** : la diminution des tonnages produits et à gérer induit directement la diminution des émissions de GES dues au transport, l'économie des ressources et d'énergies. Les tonnages évités limitent la dangerosité et les contaminations, liées à leur traitement ou à l'absence de leur traitement. Ceci pourrait contribuer à la préservation de la qualité de l'eau, de l'air et des sols ; atténuer les nuisances sonores, olfactives et esthétiques liées à leur gestion ; limiter les risques sanitaires.

Face aux taux de croissance de la population (4,69 %), il est primordial de diminuer la quantité de déchets produits. Tout l'enjeu est de faire comprendre aux populations de Bembéréké la nécessité d'initier une gestion préventive amont élargie aux producteurs, avant toute gestion curative. S'appuyant sur les conditions de salubrité précaires, les caractéristiques des déchets émis et la sensibilisation de proximité, ce scénario s'intègre bien dans les politiques et préoccupations actuelles de gestion. Cependant, sa mise en œuvre et sa réalisation sont sujettes aux influences de variables externes à la gestion des déchets proprement dite ; et ainsi, les résultats susceptibles d'être atteints restent donc incertains. En effet, les facteurs sur lesquels repose la faisabilité de ce scénario sont également ceux sur lesquels les gestionnaires ont une très faible marge de manœuvre. La réactivité des collectivités locales est donc au cœur de ce scénario.

b) Scénario 2 : la Valorisation

- **Objectif** : Production de nouvelles matières/produits/objets à partir des déchets. Pour la commune de Bembéréké, la valorisation envisagée serait plutôt une valorisation matière.
- **Leviers**
 - Répartir les déchets émis à Bembéréké en fonction des traitements applicables et estimer les potentiels de valorisation ;
 - Partir de l'expression des besoins réels de la population locale (assainissement, emploi stable, amendement régulier des sols pauvres de la région, etc) et des opportunités qu'offrent la valorisation de certaines catégories de déchets pour les amortir ;
 - Voir en les déchets produits une ressource pérenne et extraire la part valorisable du flux global des déchets ;
 - Structurer et rationaliser l'organisation de la valorisation matière filière par filière, tout en veillant à la mise en place d'une équipe coordonnatrice ;
 - Produire des produits de qualité satisfaisante, d'utilité reconnue, à de prix attractifs et concurrentiels ;
 - Encourager les initiatives locales, offrir un cadre propice pour leurs activités et améliorer la qualité de leurs produits ;
 - Susciter et développer au sein de la population une adoption et une préférence pour les produits recyclés.
- **Conditions de faisabilité**

La mise en œuvre de ce scénarios repose sur des dispositions avant tout organisationnelles et opérationnelles, mais aussi économiques et, dans une moindre mesure, sur des dispositions éducationnelles et celles relatives aux quantités des déchets produits. Ainsi, sa faisabilité dépend des éléments suivants :

- L'existence et/ou le développement d'une demande ou de débouchés réels pour les produits recyclés ;
- La garantie de la qualité et de l'offre des produits recyclés à long terme ;
- Le tri : étape incontournable, afin d'extraire la part valorisable du flux global des déchets. Sa qualité a une répercussion directe sur les résultats de valorisation (sur la qualité des produits notamment) ;
- La mise en place de filières spécifiques à chaque catégorie valorisable, les choix techniques et organisationnels des modalités de valorisation orientés par rapport à la satisfaction du plus grand nombre des parties prenantes ;
- La formalisation ou l'intégration des filières/réseaux existants sur le terrain et le renforcement du contrôle/suivi ;
- La facilitation de l'écoulement des produits recyclés, l'instauration des prix attractifs et concurrentiels, la maîtrise des coûts induits.

➤ Impacts

- **Impacts sur les flux** : le principal impact de ce scénario sur le flux des déchets est la diminution des quantités à éliminer, par la valorisation. En plus, il permet la classification des déchets en grandes catégories selon les principaux traitements applicables. 98 % en masse des déchets produits à Bembéréké sont potentiellement valorisables. Toutefois, il serait judicieux de procéder à une caractérisation minutieuse des gravats/fines pour envisager concrètement leur valorisation.

Ce scénario ne peut avoir d'impacts sur la diminution des quantités de déchets produits que s'il est envisagé et mis en œuvre au niveau des producteurs (ménages) ; dans ce cas, on parlerait plutôt de prévention.

- **Impacts socio-économiques** : ce scénario est séduisant car, porteur d'emplois diversifiés pérennes visant des compétences diverses. La construction et le fonctionnement des installations de valorisation contribueraient à la création d'emplois et d'activités directs et connexes par rapport au scénario préventif et à l'élimination. Il permettrait l'insertion sociale des personnes démunies peu qualifiées et handicapées de ce fait sur le marché de l'emploi, tout en concourant à la qualification et à la formation d'autres acteurs aux tâches spécifiques plus techniques.

Le recyclage permettrait de reconsidérer les déchets (évolution des mentalités) et de produire à moindre coût dans un monde en perpétuelle hausse de prix des matières premières. Il permettrait également de faire des économies nettes en limitant le transport vers la décharge finale des déchets. Toutefois, il conviendrait d'examiner clairement si ces coûts évités en matière de transport sont supérieurs aux coûts générés par la mise en place et le fonctionnement d'installations et du personnel de tri, de valorisation et d'activités connexes induites par ce scénario.

- **Impacts environnementaux et sanitaires** : Le raccourcissement des kilomètres à parcourir, par la diminution des déchets résiduels à acheminer vers la décharge finale, permettrait de limiter les émissions de GES et la consommation de carburants.

La préservation des ressources naturelles est amorcée par l'utilisation des matières premières secondaires que sont les déchets pour la fabrication de nouveaux produits. Ce scénario permettrait également la préservation de la qualité des milieux. En effet, la qualité de l'air serait préservée par la limitation des émissions des GES (transport, biogaz de décharges) ; des dioxines, furanes et autres toxines émises lors de l'incinération sauvage des déchets. La qualité de l'eau se trouverait préservée par la limitation de la production des lixiviats de décharges ; et le sol serait préservé des contaminants présents dans les déchets, les lixiviats et s'enrichirait même par le retour d'éléments nutritifs que contient le compost.

Le scénario « *Valorisation* » sans toutefois contribuer à une baisse de la production des déchets, concourt au prolongement de la durée de vie des produits. Une demande qui oriente l'offre des produits recyclés, une garantie sur la qualité des produits, une fluidité dans leur écoulement sur le marché, une multiplication de débouchés et le contrôle sont les maîtres mots de la faisabilité de ce scénario. Très bénéfique pour la société par les emplois diversifiés qu'il offre, sa rentabilité financière dépend de l'équilibre entre les coûts d'investissement, ceux liés aux activités directes et connexes qu'il induit d'une part ; et d'autre part, les coûts évités du transport des déchets vers la décharge pour leur élimination. Ce scénario est tout bénéfique pour l'environnement et la santé, ce bénéfice pouvant même être amélioré par des dispositions pratiques, mais onéreuses. S'intégrant parfaitement dans les politiques actuelles en matière de gestion de déchets, tout en apportant sa contribution à la résolution des préoccupations tant universelles que locales ; ce scénario génère des contraintes nouvelles et impose une rigueur organisationnelle et opérationnelle. Son approche optimale se veut filière par filière et sa mise en œuvre progressive. Donc, sa réalisation et ses performances dépendent plus des facteurs internes à la gestion des déchets proprement dite, facteurs sur lesquels les gestionnaires ont une grande marge de manœuvre.

c) *Scénario 3 : l'Élimination*

- **Objectif** : Faire disparaître les déchets. Il devrait être envisagé lorsque toutes les autres possibilités de traitement ont été explorées et devrait concerner uniquement les catégories qui ne peuvent être traités autrement. Les principales modalités sont le stockage et l'incinération.
- **Leviers**
 - Recourir à l'élimination reste incontournable afin de boucler le cycle de vie d'un produit, donc la construction des installations de stockage et/ou d'incinération est toujours nécessaire et ce, pour Bembéréké aussi ;
 - Adapter le choix du mode d'élimination aux contraintes financières, technologiques et aux infrastructures disponibles et/ou objectivement envisageables ;
 - Limiter l'élimination des déchets solides produits à Bembéréké prioritairement aux catégories dangereuses et aux matières ultimes (REFIOM) afin de prolonger la durée d'exploitation de la future décharge ;

- Limiter la croissance bactérienne et la propagation des vecteurs de maladies et de nuisances par le refus ou l'interdiction de mise en décharge des matières putrescibles (potentiellement traitables par compostage dans leur totalité) ;
- Confiner les piles et batteries dans une alvéole (compartiment) isolée et étanche en attendant leur éventuelle reprise ou une solution définitive ;
- Collaborer avec l'hôpital de district de Bembéréké pour l'incinération ne serait-ce que des sachets plastiques, si leur valorisation est problématique.

➤ Conditions de faisabilité

- Le respect des règles en vigueur en termes de prévention et de gestion des divers risques induits lors de la conception, de la construction et de l'exploitation des unités d'élimination (précisément de la future décharge finale) ;
- Le tri est toutefois nécessaire afin de séparer les fractions dangereuses des autres fractions et de les stocker séparément ;
- La collecte devrait être régulière afin de désengorger les centres de transit/regroupement/tri et alimenter continuellement la décharge ;
- La gestion efficace des eaux de pluies et la réhabilitation du site ; éventuellement, le captage du biogaz et au moins son brûlage (si on y retrouve néanmoins quelques déchets putrescibles), la récupération des lixiviats et leur traitement, devraient être pensés.

➤ Impacts

- **Impacts sur les flux** : ils peuvent être significatifs uniquement au cas où il existerait une réglementation restrictive sur la typologie des déchets à éliminer. La pression sera alors tangible et les efforts seront mobilisés pour prévenir et valoriser au mieux les déchets. Mais dans le cas d'une acceptabilité concertée ou imposée (par les conditions ou les circonstances) de tout type de déchets à la décharge (considérée alors comme unique moyen de traitement), son impact serait nul sur les flux.
- **Impacts socio-économiques** : comparativement à la valorisation, les emplois susceptibles d'être générés par l'élimination et plus précisément par le stockage, sont moindres. Cependant, si les mesures restrictives sont prises quant aux types de déchets à stocker, cela pourrait booster le développement d'activités préventives et celles de valorisation, porteuses d'emplois. L'implantation des unités et des installations d'élimination des déchets se heurte très souvent à un refus ou une réticente forte des riverains et de la population en général (phénomène NIMBY). Il n'est pas à négliger l'emprise foncière de la future décharge (2 ha) et la longue immobilisation des terres, préjudiciable aux agriculteurs.

De mise en œuvre facile et moins coûteuse que les autres modalités de traitement des déchets, la mise en décharge comme seul traitement appliqué aux déchets, permettrait

de limiter les dépenses générales liées à la gestion des déchets. En complément aux autres modalités de traitement des déchets, en tant qu'étape ultime, son coût réel reste relatif. Par ailleurs, une incinération de qualité, qui ne produit pas de dioxine, est une technologie sophistiquée et donc coûteuse.

- **Impacts environnementaux et sanitaires** : Ils sont liés au transfert des déchets des lieux de production ou d'entreposage intermédiaires vers la décharge ou le lieu d'incinération, aux activités et processus qui s'y déroulent d'une part ; mais aussi à la nature des déchets traités, aux performances (dans le cas de l'incinération) et aux pratiques d'exploitation (dans le cas du stockage) des installations. Tout cela génère des émissions, rejets et autres nuisances ; facteurs de risques difficiles à appréhender du fait de leur caractère diffus et différé. Cependant, ces risques pourraient être atténués par la limitation de l'élimination aux déchets dits « *ultimes* » et par le respect de la réglementation en vigueur en termes de niveaux de performance et d'exploitation.

Le scénario « *Elimination* », bien qu'étant l'aval de tout système de gestion de déchets, reste incontournable. Ses leviers et ses impacts ne peuvent qu'être définis et connus qu'en fonction de sa place en tant que traitement unique ou complémentaire des déchets. Toutefois, sa faisabilité repose sur le développement et la mise en place d'un contrôle de qualité, conséquente à l'obligation de respecter la réglementation. En effet, dans le cas où l'élimination est l'unique traitement appliqué aux déchets, elle devrait respecter les normes en vigueur en matière de préservation de l'environnement et de la santé humaine par une mise en décharge et/ou une incinération « *contrôlées* » ; dans le cas d'un traitement complémentaire, en plus d'une élimination contrôlée, il est question d'initier ou de renforcer le contrôle quant au respect de l'interdiction à son recours pour des fractions jugées valorisables. La régulation restrictive du système vers l'aval permettra par exemple la démultiplication d'activités de prévention et de recyclage avec tous les impacts sus cités qu'on leur connaît, contribuant ainsi à limiter les impacts négatifs des rejets et des émissions des décharges et des incinérateurs sur la santé et l'environnement. La préservation des ressources, la prolongation de la durée d'exploitation des installations et l'augmentation de l'acceptabilité de leur implantation sont d'autres avantages ; mais l'augmentation de ces étapes intermédiaires et de ces postes de prétraitement, avec les coûts qu'ils induisent, sont à considérer pour la planification budgétaire.

d) Synthèse des scénarios élémentaires

Les scénarios ainsi présentés apportent chacun pour sa part, une amélioration de la situation actuelle de salubrité de la commune de Bembéréké. Tous intéressants et spécifiques ; indépendants, complémentaires ou concurrentiels, ils présentent des effets divers notables.

Le scénario « *Prévention* », responsabilisant, repose sur la sensibilisation et relève à la fois de l'anticipation, la participation et de l'incitation de par son caractère ambitieux. Ses impacts sont liés à l'évitement.

Le scénario « **Elimination** », exutoire, repose sur la réglementation et le contrôle. De par son caractère impératif, il relève de la nécessité et de l'exécution.

Le scénario « **Valorisation** », intermédiaire entre la prévention et l'élimination, repose sur l'organisation et l'opérationnalisation. De par son caractère opportuniste, il se veut tout de même répondant, innovant, compétitif et évolutif. Les impacts qui lui sont associés sont palliatifs (atténuants).

3.3.2. Alternatives en rapport avec les objectifs de gestion

a) *Combinaisons de scénarios (alternatives) possibles*

Nous avons déjà noté que chaque scénario élémentaire apportait une amélioration de la situation qui prévaut à Bembéréké, tous concourent donc à un « mieux collectif ». Cependant, quand nous combinons ces scénarios pour en faire des alternatives de gestion future, nous arrivons aux quatre alternatives suivantes :

- **Alternative A : Elimination** : Tous les déchets produits font l'objet d'une collecte puis, d'une gestion curative. La mise en décharge et/ou l'incinération sont les seuls traitements appliqués aux déchets.
- **Alternative B : Valorisation-Elimination** : Tous les déchets produits sont collectés, avant l'élimination, les fractions valorisables font l'objet d'une valorisation. Gestion purement aval, combinant l'aspect palliatif et curatif du traitement des déchets.
- **Alternative C : Prévention-Valorisation-Elimination** : la production des déchets est prévenue en amont, ceux qui sont produits sont collectés puis, éliminés tout en veillant d'abord à la valorisation de certaines fractions.
- **Alternative D : Prévention-Elimination** : La gestion curative est précédée d'une gestion préventive. On évite au maximum la production et la nocivité des déchets en amont, au niveau des ménages, avant la prise en charge (élimination) de ceux qui seraient néanmoins produits.

Au regard de ces alternatives, nous remarquons que le scénario 3 « Elimination » est toujours l'une des composantes des alternatives, lorsqu'il n'est pas tout simplement l'unique composante (alternative A). Il est le plus mentionné et le plus combiné aux autres. De ce fait, il serait donc incontournable : c'est notre scénario principal, de base.

Les scénarios 2 « Valorisation » et 3 « Prévention », ne sont proposés qu'en complément à l'Elimination. Ils viennent faciliter et améliorer le processus de gestion ; chacun d'eux et même les deux combinés, ne peuvent constituer une alternative à part entière. De ce fait, ils sont donc subsidiaires à l'Elimination. Combinés séparément à l'Elimination (alternatives B et D), ils produiraient des effets spécifiques et isolés, qui tendent à soutenir le travail aval.

Combinés ensemble à l'élimination (alternative C), ils produiraient des effets plus complets et attendus par les gestionnaires. Cette alternative voudrait éviter au maximum la production des déchets et les éliminer une fois produits tout en valorisant au mieux ce qui peut l'être.

Les alternatives ainsi formulées, pourraient constituer chacune pour sa part, une solution à la problématique étudiée ; et pourraient contribuer à l'atteinte des objectifs de gestion, soit de façon partielle, soit de façon complète.

b) Analyse des différentes alternatives

Cette analyse consiste, premièrement, à définir chacune des alternatives et de les évaluer à l'aide de certains critères afin de choisir celle qui offre le meilleur compromis entre l'efficacité environnementale, la viabilité économique et l'acceptabilité sociale.

Ces alternatives sont formulées en unités massiques ; aussi, synthétisons les déchets en présence. Nous considérons que pour les catégories papier/carton et tissu/cuir, aussi bien fermentescibles que combustibles, la valorisation envisagée est le compostage ; donc, ces catégories sont comptabilisées uniquement dans les déchets fermentescibles.

Tableau 33 : poids des différentes catégories de déchets solides émis à Bembéréké

| Classes | T/an | Catégories | T/an |
|---|------|---|------------------|
| P ₁ : Fermentescibles (0,403) | 2407 | P ₁₁ : MO BIO (0,377) P ₁₂ : Papier/Carton (0,016) P ₁₃ : Tissu/Cuir (0,010) | 2253 95 59 |
| P ₂ : Combustibles (0,033) | 196 | P ₂₁ : Plastiques (0,032) P ₂₂ : Caoutchouc (0,001) | 192 4 |
| P ₃ : Inertes (0,552) | 3300 | P ₃₁ : Verre/Céramique (0,004) P ₃₂ : Gravats/Fines (0,549) | 22 3278 |
| P ₄ : Dangereux (0,012) | 71 | P ₄₁ : Piles (0,003) P ₄₂ : Métaux (0,009) | 17 54 |

➤ Hypothèses de gestion et présentation des alternatives

- **Alternative A « Elimination »** : Il s'agirait de traiter tous les déchets collectés en les éliminant. La possibilité de les incinérer tient d'une éventuelle collaboration avec l'hôpital de district de Bembéréké et se limiterait aux seuls sachets plastiques et caoutchouc. Pour avancer de façon réaliste, considérons que tous les déchets seraient stockés.
- **Alternative B « Valorisation-Elimination »** : si nous fixons le taux maximal de valorisation à 75 %, nous arrivons à 3 variantes pour cette alternative.

B1 : Il s'agirait de composter 75 % des déchets putrescibles, de recycler 75 % des gravats/fines en technique routière ou en remblais, de transformer 75 % des plastiques/caoutchouc en pavés, de recycler 75 % des verres/céramiques et des métaux ; de mettre en décharge le reste (25 % des fermentescibles, gravats/fines, plastiques/caoutchouc, verres/céramiques, métaux et toutes les piles).

B2 : il s'agirait de composter 50 % des déchets putrescibles, de recycler 50 % des combustibles/inertes/métaux et d'éliminer le reste (50 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et la totalité des piles).

B3 : il s'agirait de composter 25 % des fermentescibles, de recycler 25 % des combustibles/inertes/métaux et d'éliminer le reste (75 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et la totalité des piles).

- **Alternative C « Prévention-Valorisation-Elimination »** : si nous fixons le taux maximal de prévention ici à 50 %, nous arrivons à 2 variantes pour cette alternative.

C1 : il s'agirait de prévenir 50 % des fermentescibles/combustibles/inertes/dangereux, de recycler 25 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et d'éliminer 25 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et 50 % des piles.

C2 : il s'agirait de prévenir 25 % des fermentescibles/combustibles/inertes/dangereux, de recycler 50 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et d'éliminer 25 % des fermentescibles/combustibles/inertes/métaux et 75 % des piles.

- **Alternative D « Prévention-Elimination »** : si nous fixons le taux de prévention maximal ici à 75 %, nous arrivons à 3 variantes pour cette alternative.

D1 : il s'agirait de prévenir 75 % des putrescibles/combustibles/inertes/dangereux et d'éliminer le reste.

D2 : il s'agirait de prévenir 50 % des putrescibles/combustibles/inertes/dangereux et d'éliminer le reste.

D3 : il s'agirait de prévenir 25 % des putrescibles/combustibles/inertes/dangereux et d'éliminer le reste.

Tableau 34 : Récapitulatif des alternatives et de leurs variantes

| Scénarios | | Prévention | Valorisation | Elimination |
|--------------|-----------|--|---|---|
| Alternatives | | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| A | A | 0 | 0 | P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄ |
| B | B1 | 0 | 0,75 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) + P ₄₁ |
| | B2 | 0 | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) + P ₄₁ |
| | B3 | 0 | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) | 0,75 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) + P ₄₁ |
| C | C1 | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) + 0,50 *P ₄₁ |
| | C2 | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄₂) + 0,75 *P ₄₁ |
| D | D1 | 0,75 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) | 0 | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) |
| | D2 | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) | 0 | 0,50 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) |
| | D3 | 0,25 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) | 0 | 0,75 *(P ₁ +P ₂ +P ₃ +P ₄) |

➤ Présentation et gestion des critères d'analyse

Parmi les critères d'analyse, nous distinguons : les préférences locales, le coût de gestion, les emplois créés, les prélèvements évités, les nuisances et risques sanitaires évités, les émissions de CO₂ évitées et la préservation des milieux.

- **Politique de gestion prônée par la commune de Bembéréké** (préférences locales)

Prévention : elle vise la réduction d'au moins 50 % du flux des déchets et cible spécifiquement les gravats/fines ; nous lui attribuons le poids de **0,50**.

Valorisation : elle vise à réduire considérablement les déchets à éliminer et cible principalement la matière organique à composter à 80 % et les plastiques pour fabriquer les pavés ; nous lui attribuons le poids de **0,40**.

Elimination : elle consiste à faire disparaître rapidement les déchets ultimes et surtout les piles ; nous lui attribuons le poids de **0,10**.

- **Coûts de gestion et emplois créés**

Nous les exprimerons comparativement au coût de l'élimination en considérant que : l'adjonction d'une filière de recyclage matière produirait une augmentation de 10 % du coût de gestion et une augmentation du nombre d'emplois de 25 %. [7]

Donc, si l'élimination produit un emploi, l'ajout d'une filière de valorisation produirait 1,25 emploi et la prévention ne produirait pas d'emploi ; si l'élimination coûte 1 FCFA, l'ajout d'une filière de valorisation matière coûterait 1,10 FCFA et la prévention coûterait 0 FCFA.

- **Prélèvements évités**

Le terme « prélèvement » désigne dans ce contexte la consommation des ressources naturelles et d'énergie. Nous considérons ici que la prévention concourt à une économie totale de matières premières primaires et d'énergie (100 % d'économie) ; le recyclage concourt à une réduction de 1/3 (33 % d'économie) de matières premières primaires et d'énergies à prélever pour la fabrication des produits.

Tableau 35 : poids des critères « coûts de gestion », « emplois créés », « prélèvements évités » et « nuisances évitées »

| Critères | Scénarios | Prévention | Elimination | Recyclage |
|--|---------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| | | S ₁ | S ₃ | S ₂ |
| Emplois créés | Poids absolu | 0 | 1 | 1,25 |
| | Poids relatif | 0 | 0,444¹ | 0,556 |
| Coûts de gestion | Poids absolu | 0 | 1 | 1,10 |
| | Poids relatif | 0 | 0,476 | 0,524 |
| Prélèvements évités | Poids absolu | 1 | 0 | 0,333 |
| | Poids relatif | 0,750 | 0 | 0,250 |
| Nuisances et risques sanitaires évités | Poids absolu | 1 | 0 | 0,333 |
| | Poids relatif | 0,750 | 0 | 0,250² |

⁽¹⁾0,444 = 1/(1+1,25) ; ⁽²⁾0,250 = 0,333/(0,333+1)

- **Nuisances et risques sanitaires évités**

Les nuisances et risques sanitaires regroupent les odeurs, les bruits, l'impact visuel sur le paysage, les poussières, l'envol des déchets, la prolifération d'agents pathogènes, etc. causés par la gestion des déchets et pouvant porter atteinte à la santé et au bien-être des populations riveraines. Nous considérons que la prévention évite toute nuisance et tout risque sanitaire liés à la gestion des déchets ; le recyclage concourt à une réduction de 1/3 des nuisances et risques sanitaires liés à la gestion des déchets.

- **Les émissions de CO₂ évitées**

Elles regroupent : les émissions liées à la collecte et au transport des déchets, les émissions liées au procédé de recyclage et les émissions liées à la mise en décharge.

Emissions évitées liées à la collecte et au transport des déchets des centres de regroupement vers la décharge finale (la pré-collecte étant considérée comme faite à l'aide des charrettes à bras) : Distance à parcourir = 30 km, émissions = 2,6 kg eqCO₂/L (pour les bennes locales fonctionnant au gazole) ; consommation = 100 L/100 km (consommation maximale, vu que ces engins sont généralement vieux). [52]

Donc, émissions = 2,6 kg eqCO₂/km * 30 km = **78 kg eqCO₂**.

Emissions directes évitées liées à la mise en décharge : Dans le cas d'un respect des normes minimales en matière de stockage des déchets ménagers et assimilés, les non-fermentescibles (plastiques, verre/céramique, gravats/fines, métaux), alors dans un processus de stabilisation, ne produiraient que **110 kg eqCO₂/t**. [52]

Pour les fermentescibles (MO BIO, papiers/cartons, tissu/cuir), seul le méthane du biogaz produit et non-brûlé est comptabilisé : 1 tonne de la fraction fermentescible des ordures ménagères produit en moyenne 100 à 300 m³ de biogaz de composition moyenne de 2/3 CH₄ et 1/3 CO₂. Pour les déchets de Bembéréké, nous retenons la valeur 150 m³ de biogaz/T, dont 100 m³ CH₄/T. Donc, émissions = **1541 kg eqCO₂/T** (100 m³ * 0,67 kg/m³*23). Toutefois, ces émissions peuvent être également évitées par la valorisation de ce biogaz ou diminuées en brûlant ce biogaz.

Emissions évitées liées au procédé de recyclage : le procédé de recyclage en lui-même permet d'éviter des émissions de CO₂ correspondant à celles qu'aurait générées la fabrication de la même quantité du produit recyclé avec les matières premières primaires.

Tableau 36 : valeurs considérées pour le calcul des émissions évitées liées au recyclage

| Impacts du recyclage de 1 tonne de déchets en entrée du site de recyclage (T _{CO2} /T) | | | |
|---|-------------------|-----------------------|------------------|
| ADEME (EpE, 2007) | | Déchets de Bembéréké | |
| Catégories | Valeurs proposées | Catégories | Valeurs retenues |
| Acier | 1,60 | Métaux | 5 |
| Alumine | 7,10 | | |
| Fermentescibles | 0,020-0,030 | Fermentescibles | 0,025 |
| Verre | 0,46 | Verre/Céramique | 0,46 |
| PE | 2,30 | Plastiques/caoutchouc | 2,50 |
| PET | 2,70 | | |

Tableau 37 : valeurs des émissions évitées par la valorisation des déchets pour Bembéréké

| Emissions de CO ₂ évitées par la valorisation matière (kg eqCO ₂ /T) | | | | |
|--|---------|--------------------|------|-------------|
| Filières \ Niveaux | Procédé | Collecte/transport | CET | Total |
| Compostage | 25 | 78 | 1541 | 1644 |
| Recyclage des gravats/fines | / | 78 | 110 | 188 |
| Recyclage de plastique/caoutchouc | 2500 | 78 | 110 | 2688 |
| Recyclage de verre/céramique | 460 | 78 | 110 | 648 |
| Recyclage des métaux/piles | 5000 | 78 | 110 | 5188 |

- Préservation des milieux

Ce critère comprend la préservation de l'air des odeurs, fumées, poussières, molécules organiques, envol et des GES ; la préservation de l'eau des lixiviats, métaux lourds, etc. ; la préservation du sol des lixiviats, métaux lourds, bactéries, champignons, etc. Nous évaluerons ce critère comparativement à la mise en décharge.

Tableau 38 : Récapitulatif des critères d'analyse

| SCENARIOS | | Prévention S ₁ | Valorisation S ₂ | Elimination S ₃ | Sens de l'appréciation |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Economique | Coûts de gestion | 0 | 0,524 | 0,476 | - |
| Socio-économique | Emplois créés | 0 | 0,556 | 0,444 | + |
| Social | Préférences locales | 0,500 | 0,400 | 0,100 | + |
| Socio-environnemental | Nuisances et risques évités | 0,750 | 0,250 | 0 | + |
| Environnemental | Prélèvements évités | 0,750 | 0,250 | 0 | + |
| | Emissions évitées | 0,500*X eqCO ₂ | 0,400*X eqCO ₂ | 0,100*X eqCO ₂ | + |
| | Préservation des milieux | ++ | + | - | + |

➤ Performances des différentes alternatives

Les critères ont été classés dans 3 catégories principales : les critères sociaux, les critères économiques et les critères environnementaux. Nous considérons que ces catégories s'équivalent car le développement durable met sur un même pied d'égalité ses composantes sociales, économiques et environnementales. Des tableaux 39 et 40 suivants, il ressort que :

- L'alternative A « **Elimination** », bien qu'étant une filière de traitement à part entière, se présente comme l'alternative la plus minimaliste tant en termes d'efficacité environnementale qu'en termes de viabilité économique et d'acceptabilité sociale.
- L'alternative B « **Valorisation-Elimination** », de par sa composante « *Valorisation* », est une alternative opportuniste. Elle vient traduire les potentiels de valorisation en faits concrets avec, par rapport à l'alternative A, des effets bénéfiques tant sur l'économie que sur le social et l'environnement. Donc, l'alternative B est plus performante que l'alternative A. Elle concourt à une préservation des ressources naturelles et à une limitation des impacts négatifs des émissions sur l'environnement ; par substitution des déchets aux matières premières primaires, par diminution des quantités à stocker et des kilomètres à parcourir pour la collecte. Cette alternative présente le traitement aval le plus souhaitable, car elle allie dépollution et production de biens injectables dans le marché. Elle nécessite par contre une organisation minutieuse, une structuration spécifique par filière et une mobilisation d'éventuelles synergies. Avec un taux de recyclage à 75 %, sa variable B₁ fait mieux que B₂ et B₃.
- L'alternative C « **Prévention-Valorisation-Elimination** », de par ses composantes, est une alternative qualifiée de complète. Par ce qu'elle combine l'ambition de la prévention, l'opportunisme de la valorisation et l'impérativité de l'élimination ; ses effets s'enchaînent spatialement et temporellement, couvrent tous les maillons de la chaîne de gestion. Elle est plus performante que l'alternative B dans ce sens que sa variante la moins performante C₂ fait mieux que la variante la plus performante B₁ de l'alternative B. La pertinence de cette alternative tient du fait que la mise en œuvre de chacune de ses composantes est justifiée pour solutionner la problématique évoquée dans son intégralité. C'est cette alternative qui s'inscrit dans le même ordre d'idées que la politique nationale béninoise, sur laquelle est calquée celle de la commune de Bembéréké.
- L'alternative D « **Prévention-Elimination** », de par sa composante « *Prévention* », est une alternative ambitieuse. Elle promeut une intervention plus amont tout en prenant des mesures pour remédier à ses insuffisances. Elle combine des actions situées aux extrémités suprêmes des politiques globales de gestion de déchets. La prévention pour soutenir l'adage qui dit que « *le meilleur déchet est celui qui n'existe pas* », l'élimination pour le fait qu'il reste incontournable pour boucler le cycle de vie d'un produit. De hautes performances sont réalisées, par rapport à l'alternative C, pour un taux de prévention de 75 %. Cependant, pour les taux de prévention de 50 % et 25 %, l'alternative C fait mieux que l'alternative D grâce à sa composante « *Valorisation* ».

Tableau 39 : tableau de performance des alternatives

| ALTERNATIVES | A | B | | | C | | D | | | Sens de l'appréciation |
|-------------------------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|------------------------|
| <i>Variantes</i> <i>Critères</i> | A | B_1 | B_2 | B_3 | C_1 | C_2 | D_1 | D_2 | D_3 | / |
| Coûts de gestion | 0,476 | 0,512 ¹ | 0,500 | 0,488 | 0,250 | 0,381 | 0,119 | 0,238 | 0,357 | - |
| Emplois créés | 0,444 | 0,528 | 0,500 | 0,472 | 0,250 | 0,389 ² | 0,111 | 0,222 | 0,333 | + |
| Préférences locales | 0,100 | 0,324 | 0,249 | 0,175 | 0,375 | 0,349 | 0,400 ³ | 0,300 | 0,200 | + |
| Nuisances et risques évités | 0 | 0,187 | 0,125 ⁴ | 0,062 | 0,437 | 0,312 | 0,562 | 0,375 | 0,187 | + |
| Prélèvements évités | 0 | 0,187 | 0,125 | 0,062 | 0,437 | 0,312 | 0,562 | 0,375 | 0,187 | + |
| Emissions évitées | 0 | 271,1 | 180,7 | 90,4 | 320,2 ⁵ | 295,7 | 344,7 | 229,8 | 114,9 | + |
| Préservation des milieux | - | + | | | ++ | | ++ | | | + |

(1) $0,512 = 0,524 \cdot 0,75 \cdot (0,403 + 0,033 + 0,552 + 0,009) + 0,476 \cdot 0,25 \cdot (0,403 + 0,033 + 0,552 + 0,009) + 0,476 \cdot 0,003$

(2) $0,389 = 0,556 \cdot 0,50 \cdot (0,403 + 0,033 + 0,552 + 0,009) + 0,444 \cdot 0,25 \cdot (0,403 + 0,033 + 0,552 + 0,009) + 0,444 \cdot 0,75 \cdot 0,003$

(3) $0,400 = 0,50 \cdot 0,75 + 0,10 \cdot 0,25$

(4) $0,125 = 0,25 \cdot 0,50 \cdot (0,403 + 0,033 + 0,552 + 0,009)$

(5) $320,2 = 0,50 \cdot 0,50 \cdot (0,403 \cdot 1644 + 0,033 \cdot 2688 + 0,004 \cdot 648 + 0,549 \cdot 188 + 0,012 \cdot 5188)$
 $+ 0,40 \cdot 0,25 \cdot (0,403 \cdot 1644 + 0,033 \cdot 2688 + 0,004 \cdot 648 + 0,549 \cdot 188 + 0,009 \cdot 5188)$

Tableau 40 : synthèse des performances des alternatives

| ALTERNATIVES | | A | B | | | C | | D | | | Sens de l'appréciation |
|-----------------------|-----------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| VARIANTES CRITERES | | A | B ₁ | B ₂ | B ₃ | C ₁ | C ₂ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | / |
| Économique | Coûts de gestion | 0,254 | 0,248 | 0,250 | 0,252 | 0,125 | 0,186 | 0,064 | 0,127 | 0,191 | - |
| | Emplois créés | | | | | | | | | | |
| social | Préférences locales | 0,322 | 0,682 | 0,562 | 0,442 | 0,718 | 0,699 | 0,736 | 0,599 | 0,460 | + |
| | Nuisances et risques évités | | | | | | | | | | |
| Environnemental | Prélèvements évités | 0 | 0,281 | 0,188 | 0,093 | 0,655 | 0,468 | 0,843 | 0,562 | 0,281 | + |
| | Emissions évitées | 0 | 271,1 | 180,7 | 90,4 | 320,2 | 295,7 | 344,7 | 229,8 | 114,9 | + |
| | Préservation des milieux | - | | + | | ++ | | ++ | | | + |
| | | | | | | | | | | | |

3.3.3. Alternative retenue et effets notables de sa mise en œuvre

Par ce qu'elle est la plus performante en termes d'efficacité environnementale, de viabilité économique et d'acceptabilité sociale, l'alternative D₁ « **75 % Prévention-25 % Elimination** », est celle qui est retenue pour la gestion des déchets solides émis à Bembéréké.

a) Proposition de mise en œuvre

Bien que concourant à l'atteinte des objectifs généraux de gestion, les composantes de cette alternative présentent des spécificités en termes d'incidences et de moyens à mettre en œuvre. Ses leviers, ses conditions de faisabilité et ses impacts ne sont qu'une sommation de ces mêmes facteurs pour l'ensemble des scénarios élémentaires la constituant. Afin de maîtriser chaque composante de cette alternative de gestion, nous suggérons une mise en œuvre progressive ; partant du plus aval possible vers l'amont, d'une situation peu favorable vers une amélioration continue. Aussi, de façon graduelle, du principal au facultatif, du plus urgent au plus séduisant, du plus faisable au plus souhaitable, du plus simple au plus complet ; nous proposons une mise en œuvre immédiate de l'élimination, laquelle sera précédée par la suite de la valorisation, puis de la prévention afin d'arriver à un stade où on ne retrouverait plus que la prévention et l'élimination. Donc, la proposition reprend l'ensemble des alternatives formulées et se présente chronologiquement comme suit : A, B, C et D.

b) Justification de la proposition de mise en œuvre

La proposition faite part de plusieurs raisons parmi lesquelles :

➤ Un constat majeur : **Le centre urbain de Bembéréké est insalubre**

Malgré l'arsenal juridique et institutionnel en matière d'assainissement dont dispose le Bénin, malgré les efforts et la volonté politique des élus locaux ; l'état de salubrité de Bembéréké est alarmant. Cet état d'insalubrité est illustré par la multitude de dépotoirs sauvages à proximité des habitations, une obstruction des voies et le remblayage des creux par les déchets, un éparpillement des déchets par le vent et les animaux en divagation, un brûlage régulier de ces déchets, etc. Ceci résulte des failles et faiblesses dans la mise en œuvre des dispositions légales et réglementaires ; de la pauvreté manifeste des individus (éducationnelle, monétaire et en logement). Cette situation affecte la santé humaine (maladies) et environnementale (pollutions). D'où la nécessité d'une intervention urgente.

Il y a donc lieu dans un premier temps d'offrir un cadre opérationnel propice pour toutes les activités et d'asseoir les bases de la future politique de gestion des déchets. La vision hygiéniste est l'orientation première afin de répondre adéquatement à cette urgence. Assainir à ce stade reviendrait donc à répertorier et à détruire tous les tas d'immondices et dépotoirs sauvages, à curer tous les caniveaux, à désengorger tous les centres de regroupement, à nettoyer et améliorer les voies d'accès aux habitations ; et parallèlement à initier la collecte primaire des déchets qui continuent à être produits par les ménages. Cette étape qui traduirait le lancement effectif du processus de gestion des déchets solides à Bembéréké, est un préalable pour mener à bien le projet.

Par ce qu'elle vient déblayer le terrain, elle est donc une étape préparatoire qui donnerait un signal fort à la population locale quant à la volonté politique manifeste de leur offrir un cadre de vie sain ; et permettrait en retour de susciter leur adhésion et leur participation.

Les déchets en présence, sous l'action des intempéries et des autres facteurs du milieu, auraient déjà subis des dégradations majeures et ne pourront pas, même si cela était envisagé, se prêter au tri et à une quelconque valorisation. En plus les infrastructures et installations nécessaires pour le tri et la valorisation ne seraient pas encore totalement disponibles et correctement équipées pour accueillir de telles activités. Tous ces déchets seraient alors évacués vers le centre de stockage pour leur élimination : c'est la mise en œuvre de l'alternative A « *Elimination* ».

➤ ***Des résultats concrets* : Les quantités et les compositions des déchets solides émis à Bembéréké sont connues.**

La typologie de déchets offre des possibilités de valorisation énormes.

Une fois tous les tas d'immondices et dépotoirs sauvages détruits, les caniveaux et les ruelles nettoyés, les centres de regroupement désengorgés et équipés ; le traitement des déchets peut être amplifié en faisant précéder l'élimination par une valorisation, d'autant plus que les déchets collectés proviendraient directement des habitations, du marché et des places publiques. Cette valorisation peut être envisagée sereinement au sein même des centres de regroupement afin de limiter les quantités à transporter pour le stockage et privilégier la proximité pour les travailleurs et les biens produits. Elle concernerait premièrement les fermentescibles, pour la fabrication du compost ; et les inertes, utilisés comme remblai. L'idée ici ne serait pas de se faire des économies, mais de saisir l'occasion offerte par les caractéristiques des déchets émis et d'éveiller les consciences sur la ressource que peut constituer un déchet. L'objectif est de montrer aux populations ce qui peut être fait, de manière ludique (distrayante), avec les moyens locaux ; à travers le compostage notamment. Par compostage, on assainit et on remédie simultanément de façon simple aux problèmes de pauvreté des sols et de cherté d'engrais chimiques. Le compost produit pourrait alors être appliqué, dans un premier temps, dans des parcelles expérimentales ; ceci pour convaincre les plus sceptiques de tous les bienfaits liés à son utilisation. Les inertes pourraient nettement améliorer l'accessibilité aux habitations et la circulation dans les quartiers ; et même constituer un matériau utilisable gratuitement en technique routière.

A ce stade, une évolution est observée. Aux considérations strictement sanitaires, sont ajoutées des considérations environnementales et utilitaristes. La valorisation, qui vient améliorer le traitement des déchets, est également une action stratégique. Elle implique déjà directement les populations (travailleurs) au processus de gestion, mais elle tiendrait lieu de préparation, de formation et d'expérimentation dans le sens où elle montre l'exemple d'actions qui se veulent de préférence être développées au sein des concessions ou d'associations de quartier. Le transfert de ces techniques par la régie et leur appropriation par les ménagères sont donc visés. Les déchets qui n'auront pas encore trouvé de possibilités de valorisation (les combustibles), tout comme les déchets dangereux, continueront à être éliminés par stockage : c'est la mise en œuvre de l'alternative B « *Valorisation-Elimination* ».

➤ ***Une mouvance globale de référence : éviter au maximum la production des déchets à la source, mieux les valoriser avant leur élimination.***

La politique de gestion des déchets devrait s'adapter aux connaissances et aux circonstances actuelles tout en restant cohérente avec les objectifs assignés au projet. Une évolution s'impose : passer d'une gestion aval purement curative à une gestion qui se veut avant tout amont et préventive. Traiter tous les déchets produits ne suffit plus, il faut limiter les flux à gérer en attaquant le problème à la source, au niveau des producteurs. Ainsi, les actions, désormais réparties à tous les niveaux, impliqueraient impérativement tous les acteurs. Chaque citoyen de Bembéréké, interpellé en tant que producteur de déchets, acteur du développement local et protecteur de l'environnement ; devrait prendre ses responsabilités par sa collaboration. Cette collaboration consisterait à prendre toutes les mesures possibles afin d'alléger sa poubelle.

En matière de prévention à Bembéréké, la priorité est de stopper dans l'immédiat la croissance générale des déchets produits en s'attaquant spécifiquement aux gravats/fines. Sachant que les balayages répétitifs des cours des habitations est la principale activité génératrice des déchets et des gravats/fines par conséquent, l'amélioration des techniques de balayage serait donc un apport palpable de la collaboration des ménages. A cela devrait s'ajouter un changement d'habitudes de consommation et de pratiques quotidiennes, en ce qui concerne spécifiquement les piles et les plastiques ; afin de limiter la dangerosité de ces déchets. Des petits travaux de dépannage, maintenance et réparation pourraient également être envisagés.

A ce niveau, la gestion est la plus complexe et la plus complète possible. Aux aspirations sanitaires, environnementales et utilitaristes, sont ajoutées les notions globales de préservation des ressources de production/consommation et de développement durable. La prévention (gravats/fines, piles, plastiques, ...) pour éviter la gestion et ses impacts ; la valorisation (fermentescibles,...) pour limiter la gestion et ses impacts ; l'élimination des déchets ultimes pour boucler le processus : c'est la mise en œuvre de l'alternative C « *Prévention-Valorisation-Elimination* ».

➤ ***Un espoir couronnant : l'alternative D « Prévention-Elimination »***

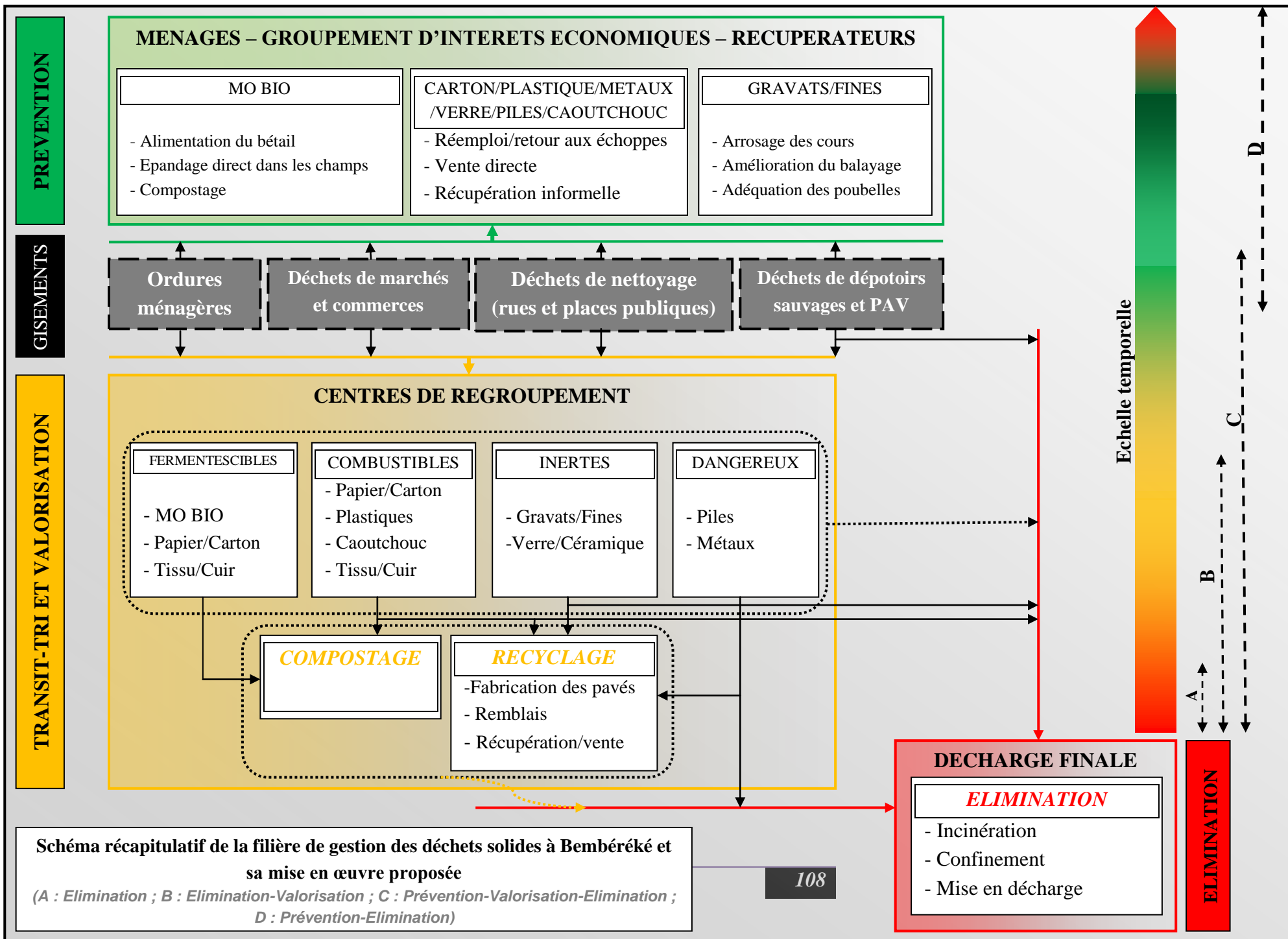
L'aboutissement à la mise en œuvre de l'alternative D témoignerait d'une performance remarquable réalisée au niveau de la prévention. Elle se traduirait comme suit : Les populations sensibilisées, adhèrent massivement et s'approprient le projet. Par ce qu'elles sont formées aux nouvelles techniques de balayage, initiées au compostage, orientées vers la consommation durable ; les populations de Bembéréké produisent moins de gravats/fines comme déchets, elles fabriquent le compost dans les concessions et/ou les associations pour fertiliser leurs champs, elles ramènent leurs piles usées dans les échoppes et utilisent de moins en moins de plastiques. Donc, les déchets générés et à la charge de la municipalité sont minimes et ne présentent pas de potentiels significatifs de valorisation au point qu'ils ne peuvent qu'être stockés. Cependant, loin de crier victoire et de ranger les armes, il y aurait lieu de soutenir, motiver et d'encadrer de telles initiatives.

c) *Synthèse stratégique*

L'alternative D₁ « 75% Prévention-25% Elimination », retenue pour la gestion des déchets solides à Bembéréké requiert une méthodologie opérationnelle progressive dans laquelle on distinguerait plusieurs stades. Le premier stade étant celui de la mise en œuvre de l'élimination, non seulement apporterait une réponse adéquate et ponctuelle au problème épineux d'insalubrité à Bembéréké, mais constituerait également le levier de toutes les activités ultérieures, prévues elles, dans la continuité. C'est en ce sens l'élément déclencheur. Le deuxième stade, celui de l'adjonction de la valorisation à l'élimination, viendrait saisir les opportunités offertes par les caractéristiques des déchets à traiter. En plus de produire des biens de consommation et de déclencher le processus participatif, une amélioration du traitement en cours serait dénoté. Ce stade serait par conséquent, l'élément amplificateur. Le troisième stade, qualifié de complet, correspond à l'adjonction de la prévention à la valorisation et à l'élimination. Il permettrait d'atteindre tous les objectifs assignés au projet tout en conformant le procédé à la mouvance globale. L'efficacité du traitement amont des déchets aboutirait à une filière ne comprenant que la prévention et l'élimination. Les éléments valorisables, maintenant considérés comme ressources n'entrent plus dans le contenu des poubelles, mais alimentent des dynamiques familiales ou populaires.

CONCLUSION DU CHAPITRE 3

Les bases des politiques de gestion des déchets dans le monde sont communes, mais les modalités d'application et de mise en œuvre, quant à elles, varient selon le niveau économique de chaque pays et des caractéristiques socioéconomiques locales. Les notions de prévention, valorisation, élimination sont simples et universelles. Cependant, leur traduction en actions se veut en adéquation directe avec les facteurs qui régissent et conditionnent le moment et le lieu où elles sont envisagées. Ainsi, en Afrique subtropicale, la gestion efficace des déchets solides, considérée comme un casse-tête majeur, devrait s'envisager de façon plus méthodique et pratique. Ceci serait possible grâce à l'existence de cadres de référence et des potentialités réelles, d'autant plus que la typologie des déchets qui y sont produits n'est pas la plus hétérogène qui puisse être. L'idée n'est pas de chercher à appliquer des solutions miracles, toutes faites, mais de partir de la solution plus urgente possible et de viser une amélioration continue. A Bembéréké, à la décision consensuelle de mettre sur pieds une filière de gestion de déchets solides se référant à l'une des variables de l'alternative C « *Prévention-Valorisation-Elimination* », nous nous y joignons tout en retenant l'alternative D₁ qui est une amplification de la prévention par un changement d'acteurs dans les procédés de valorisation. Ainsi, nous proposons une mise en œuvre progressive. La faisabilité de chaque alternative repose sur la faisabilité de chacune des opérations qui la constituent. Aussi, une sensibilisation de proximité, une organisation/opérationnalisation et une réglementation/contrôle sont au cœur de l'ensemble des processus. Il est nécessaire d'instaurer des mesures d'accompagnement, une évaluation et un suivi à chaque niveau d'organisation et d'intervention afin de prendre les mesures idoines, visant à assurer un succès général et pérenne des initiatives.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)

- [51] **ADEME, 1998**. Collecte sélective : les clés de la réussite, ADEME, avril 1998
<http://www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/vade/chap5/fiche48.htm>. Consulté le 24/09/2013.
- [52] **ADEME, 2006**. Evaluation environnementale des plans d'élimination des déchets. ADEME Editions, 74 p.
- [53] **AFD, 2012**. Projet d'accès d'une structure de compostage des déchets urbains aux crédits carbone (Beira). Agence Française de Développement.
- [54] **ANDRIEU M. et al., 2012**. Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets. Références. Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, 48 p.
www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Ref_dechets.pdf. Consulté le 26/08/2013.
- [55] **Belgian Federal Government, 2013**. Direction Générale Statistique et Information Economique, 2008. Sur base des données administratives.
<http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/environnement/dechets/municipaux/>. et
<http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/environnement/dechets/emballages/>. Consultés le 28/08/2013.
- [56] **BEP**. Compostage individuel. Bureau Economique de la Province de Namur, département Environnement. 17 p.
http://www.environnement-namur.be/infra/pdf/compostage_individuel.pdf. consulté le 11/09/2013.
- [57] **BHADA-TATA P. et HOORNWEG D., 2012**. What a waste. World Bank. A Global Review of Solid Waste Management, n° 15, march 2012, 116 p.
- [58] **CEFREPADE, 2008**. Compostage des déchets ménagers dans les PED : modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes. 65 p.
- [59] **COLLET P., 2013**. Les combustibles solides de récupération ravivent le débat sur l'incinération et la réduction des déchets. Actu-Environnement.com, article du 26 juin 2013.
<http://www.actu-environnement.com/ae/news/csr-combustion-dechets-developpement-18880.php4>. 09/09/2013.
- [60] **Commission du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, 2013**. La biomasse au service du développement durable. Rapport d'information, Assemblée Nationale, Paris. Modèle : P. 22.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Biogaz#cite_note-7. Consulté le 10/09/2013.
- [61] **DGO3, 2009**. Bilan du plan wallon des déchets horizon 2010. Volet déchets ménagers et assimilés. Version 1.6. Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement. 93 p.
http://environnement.wallonie.be/rapports/owd/dechets_menagers/PWD_2010_1_6.pdf. Consulté le 23/09/2013.

- [62] **Entreprises pour l'Environnement**, 2008. Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre liées à la gestion des déchets. EpE, 58 p.
http://www.epe-asso.org/pdf_rap/EpE_rapports_et_documents77.pdf. Consulté le 12/11/2014.
- [63] **EurObserv'ER**, 2012. Systèmes solaires. Baromètre biogaz-EurObserv'ER. Le journal des énergies renouvelables n° 212-2012, pp. 66-79.
<http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro212biogas.pdf>. Consulté le 10/09/2013.
- [64] **Eurostat**, 2013. Environnement dans l'UE27. Communiqué de presse. 33/2013 du 4 mars 2013. 3 p.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-04032013-BP/FR/8-04032013-BP-FR.PDF. Consulté le 11/09/2013.
- [65] **GRIVEAU B.**, 2011. La transposition de la Directive-cadre Déchets en droit français. Lettre des juristes de l'environnement.
http://www.juristes-environnement.com/article_detail.php?id=449. Consulté le 11/09/2013.
- [66] **LE COURTOIS A.**, 2013. Les déchets municipaux, une ressource potentielle. Jeune Afrique, 06/09/2013.
<http://economie.jeuneafrique.com/tribune/408-tribune-international/19386-les-dechets-solides-municipaux-une-ressource-potentielle.html>, Consulté le 02/10/2013.
- [67] **LEONARD A.**, 2002. Bio méthanisation. Université de Liège, Laboratoire de Génie Chimique. Printemps des sciences 2002, 8 p.
http://www.semeur.be/routes/2011-2012/Q1_biomasse/Biomethane.pdf. Consulté le 10/09/2013.
- [68] **MONZAMBE M.**, 2002. La problématique de la bio méthanisation en RDC. Article. Bulletin de l'ANSD, vol. 3, décembre 2002. pp. 7-34.
http://classiques.uqac.ca/collection_sciences_developpement/monzambe_mapunzu/biomethanisation/biomethanisation.pdf. Consulté le 10/09/2013.
- [69] **OUEDRAOGO G. N.**, 2011. Engager les communautés locales à se préparer à vivre avec les changements climatiques : cas de l'incinération des sachets plastiques dans la ville de Dédougou. Rapport définitif, 38 p.
<http://static.weadapt.org/knowledge-base/files/859/4f736e65cec2bfinal-guy-noel-projectplace-125611.pdf>. Consulté le 12/09/2013.
- [70] **PONCELET E.**, 2009. La gestion des déchets dans le contexte européen. ADEME. Belgrade, 18/06/2009. Ppt, 40 p.
- [71] **RDC-Environnement**, 2010. La gestion de la prévention des déchets ménagers et assimilés dans 8 pays/régions d'Europe : les actions innovantes pour la Région wallonne. Research, Development & Consulting, 58 p.
- [72] **République Française**, 2008. Analyse prospective de la gestion des déchets en France à l'horizon 2020. Collection « Etudes et Synthèses » de la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale (D4E). 98 p.
<http://www.ordif.com/repository/N15/N1539620697/16083495.pdf>. Consulté le 24/09/2013.

[73] **République Française, 2011.** Chiffres clés. Prévention des risques. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Chiffres-cles,399.html>. Consulté le 11/09/2013.

[74] **République Française, 2011.** Article R 541-8 du Code de l'environnement. Circulaire du 24 décembre 2010 relative aux modalités d'application des décrets n°2009-1341, 2010-369 et 2010-875 modifiant la nomenclature des installations classées exerçant une activité de traitement de déchets, JO du 25 janvier 2011.

<http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr/web/environnement/dechets/installations-collecte-traitement-dechets/definition-centre-de-transit-et-de-tri>. Consulté le 24/09/2013.

[75] **SOTAMENOU J., 2005.** Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé. Mémoire de DEA, Université de Yaoundé II-Soa, 160 p.

[76] **SPW, 2009.** Axes directeurs de prévention des déchets ménagers et assimilés en Région Wallonne. Service Public Wallon, 40 p.

[77] **THONART Ph. et DIABATE S. I., 2005.** Guide pratique sur la gestion des déchets municipaux et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud. Les publications de l'IEPF, 146 p.

[78] www.actu-environnement.com/ae/.../definition/dechet_organique.php4. Consulté le 23/08/2013.

[79] www.larousse.fr/dictionnaires/francais/combustible/17412. Consulté le 26/08/2013.

[80] www.actu-environnement.com/ae/.../definition/dechet_inerte.php4. Consulté le 23/08/2013.

[81] www.actu-environnement.com/ae/.../definition/dechet_dangereux.php4. Consulté le 23/08/2013.

PARTIE I : VOLET « *DECHETS* »

CONCLUSION

CONCLUSION DU VOLET « *DECHETS* »

Au terme de ce travail, du moins pour ce volet de la thèse, nous estimons que les objectifs que nous nous sommes fixés dès le départ ont été atteints dans leur globalité. Il s'est agi de :

1. Préciser les enjeux de la caractérisation des déchets solides, face à la problématique de la gestion des déchets solides dans les communes en Afrique subtropicale :

La gestion des déchets solides en Afrique subtropicale se heurte aux difficultés de divers ordres. Si les principaux regroupent les aspects financiers et ceux liés aux conditions de vie des populations, les échecs répétitifs qu'ont cependant essuyés les gestionnaires de déchets solides ont éveillé une prise de conscience timide sur le fait que la connaissance quantitative et qualitative des déchets solides émis constitue un axe d'intervention difficilement contournable. En effet, toute politique de gestion des déchets solides devrait être définie sur des bases réelles et solides qu'est la connaissance précise des caractéristiques des déchets. Les informations relatives aux volumes et tonnages des déchets produits permettent de mieux organiser et dimensionner la future filière de gestion. Disposer des données qualitatives des déchets émis, dans une localité précise, permettra une évaluation judicieuse des risques pour les populations et l'environnement et de définir les niveaux d'intervention primordiaux.

2. Mettre sur pied une méthode de caractérisation simple, rapide, peu coûteuse, et flexible répondant aux spécificités des villes secondaires et aux contraintes des projets de gestion des déchets solides en Afrique subtropicale :

Plusieurs auteurs soulignent que la science n'est pas au service de la filière déchets et précisent que très peu d'études attaquent le problème à l'amont : en Afrique subtropicale, la connaissance précise des déchets solides n'est pas encore une réalité et ce, d'autant plus dans les villes secondaires. En effet, du fait des difficultés d'application en état, dans le contexte des PED, des méthodes de caractérisation développées dans les pays industrialisés, une méthode de caractérisation et de quantification a été proposée et développée dans ce travail de thèse. Cette méthode est dédiée aux petits centres urbains d'Afrique et permet, lorsqu'on envisage de gérer les déchets solides émis, de disposer de leurs caractéristiques essentielles. Cette méthode est :

- ***Simple et efficace*** : elle est basée sur des critères sociodémographiques et saisonniers objectifs, disponibles et accessibles au niveau de chaque commune ; elle opère à la source lorsque les influences des facteurs externes sont minimales ; elle utilise les ressources locales ; elle fournit des données essentielles et fiables.
- ***Rapide*** : sa mise en œuvre complète ne requiert qu'environ un mois/campagne ; des enquêtes de terrain à la caractérisation en passant par le choix des ménages à échantillonner, l'encodage et la distribution des poubelles adéquates, leur remplissage, leur récupération et leur caractérisation.
- ***Peu coûteuse*** : Le coût d'une telle campagne de caractérisation avoisinait alors 550.000 FCFA, soit 832 € environ. Bien sûr, ce coût est relatif aux paramètres tels que l'importance de la zone à couvrir, le coût de la main d'œuvre dans la zone, les moyens

de transport des déchets utilisés, etc. Donc, bien organisée, une telle campagne représente un coût faible en regard des informations récoltées et au vu des risques financiers d'investissements mal choisis.

- **Flexible** : par ce qu'elle est basée sur les critères sociodémographiques (typiques à chaque commune) et aux nuances saisonnières (typiques à chaque région), et par ce qu'elle laisse des possibilités pour l'intégration des spécificités et contraintes liées au contexte de la nécessité d'une telle étude, elle peut être appliquée dans d'autres communes.

Cette méthode a bel et bien déjà été appliquée avec succès à Kinama (commune de Bujumbura au Burundi), à Gombe et à Kimbanseke (deux communes périphériques de Kinshasa en RDC), pour des besoins de réalisation des projets similaires au nôtre. La comparaison des résultats obtenus avec les nôtres sont concluants.

3. Connaître les déchets solides à l'échelle locale de Bembéréké et mettre en évidence la nécessité pour chaque commune de disposer au préalable de la typologie de ses déchets et de procéder régulièrement à leur mise à jour :

Les déchets solides à Bembéréké comme dans toutes les villes, sont constitués de trois principaux flux à savoir : les déchets de marchés, les déchets de nettoyage et d'entretien des places publiques et grandes artères de la ville et les déchets ménagers au sens strict (16 T/j, soit 33 m³/j). Ces derniers représentent une proportion pondérale de 99 % : L'hypothèse selon laquelle les déchets ménagers constitueraient plus de 90 % des déchets solides municipaux à Bembéréké, est donc justifiée. La masse volumique apparente de ces déchets est estimée à 503 +/- 58 kg/m³ pour une teneur apparente en eau moyenne de la MO BIO de 21 %.

La production des déchets ménagers à Bembéréké (0,94 +/- 0,10 kg/j.hab), bien située dans la fourchette nationale béninoise, n'est liée ni aux saisons, ni aux quartiers, ni aux standings. La composition des déchets ménagers à Bembéréké, dominée en masse à 93 % par les gravats/fines et la MO BIO, est liée aux saisons, aux quartiers et aux standings : plus de gravats/fines en saison sèche qu'en saison pluvieuse ; dans les quartiers centraux, les ménages de moyen standing, exerçant des activités additionnelles que sont le commerce et la restauration domiciliaires, produisent plus de déchets d'emballage.

Ces nuances dans la composition des déchets ménagers sont le reflet des caractéristiques intrinsèques de la commune de Bembéréké. Un suivi de la production de ces déchets est requis pour connaître leur tendance évolutive.

4. Dresser un inventaire des filières potentielles de gestion de ces déchets et en proposer une qui satisferait aux exigences tant environnementales que communautaires :

En accord avec la mouvance globale des politiques de gestion des déchets solides et avec les préférences locales, des scénarios élémentaires ont été élaborés ; leurs combinaisons ont permis de construire des alternatives qui constituent les filières potentielles de gestion des déchets émis à Bembéréké.

Trois scénarios élémentaires :

- **La Prévention** : réduire la quantité de déchets solides produits. Scénario ambitieux, il repose sur la sensibilisation et relève à la fois de l'anticipation et de la participation.
- **La Valorisation** : produire de nouvelles matières/produits/objets à partir du contenu des poubelles. Scénario opportuniste, il repose sur l'organisation et l'opérationnalisation et se veut répondant, innovant et compétitif.
- **L'Élimination** : faire disparaître les déchets. Scénario impératif, il est incontournable et repose sur la réglementation et le contrôle.

Quatre principales alternatives :

- **Alternative A « Élimination »** : Tous les déchets produits font l'objet d'une collecte puis, d'une mise en décharge. Elle se présente comme l'alternative la plus minimaliste en termes d'atteinte des objectifs de gestion fixés.
- **Alternative B « Valorisation-Élimination »** : Tous les déchets produits sont collectés, avant l'élimination, les fractions valorisables font l'objet d'une valorisation. Cette alternative a trois variantes et est plus performante que l'alternative A. Cependant, elle ne permet pas d'atteindre l'ensemble des objectifs fixés.
- **Alternative C « Prévention-Valorisation-Élimination »** : la production des déchets est prévenue en amont, ceux qui sont produits sont collectés puis, certaines fractions sont valorisées avant l'élimination. Les performances que les 2 variantes de cette alternative permettraient d'atteindre sont supérieures à celles des alternatives précédentes. Les impacts de sa mise en œuvre seraient plus complets et permettraient d'atteindre l'ensemble des objectifs fixés par les porteurs du projet.
- **Alternative D « Prévention-Élimination »** : On évite au maximum la production et la nocivité des déchets en amont et on élimine ceux qui seraient néanmoins produits. Cette alternative permettrait, à condition qu'on atteigne un taux de prévention de 75 %, d'obtenir des performances supérieures à celles de l'alternative C.

Un choix pour la gestion des déchets solides émis à Bembéréké : l'alternative D1 « **75 % Prévention -25 % Élimination** » qui est la plus performante en termes d'efficacité environnementale, de viabilité économique et d'acceptabilité sociale.

Notre proposition de mise en œuvre : Progressive.

- D'abord, l'*alternative A* : éliminer tous les déchets provenant de la destruction des tas d'immondices et dépotoirs sauvages, du curage des caniveaux, du désengorgement des centres de regroupement, du nettoyage des ruelles et pistes.
- Ensuite, l'*alternative B* : améliorer et compléter le traitement ; donc, valoriser avant d'éliminer : composter les éléments fermentescibles dans les centres de regroupement, utiliser les éléments inertes comme remblai ou en génie civil afin d'améliorer l'accessibilité aux habitations, transformer les combustibles en pavés pour embellir les cours et les places publiques ; par stockage, éliminer les déchets dangereux et les fractions qui n'auront pas encore trouvé de possibilités concrètes de valorisation.

- Enfin, l'*alternative C* : compléter et parfaire le processus de gestion ; donc, prévenir au maximum, mieux valoriser avant d'éliminer : au niveau des ménages, prévenir les gravats/fines, les piles et les plastiques ; au niveau des centres de regroupement, composter les éléments fermentescibles ; au niveau de la décharge, éliminer des déchets ultimes pour boucler le processus.
- Et, espérer qu'en plus de prévenir efficacement la production des gravats/fines, des piles et des plastiques, les habitants de Bembéréké compostent les éléments fermentescibles dans leurs concessions et/ou au sein des associations ; afin de n'avoir qu'à stocker l'infime contenu des poubelles : *alternative D₁*.

Les autorités de la commune de Bembéréké sont donc bien outillées pour concrétiser et mener à bien leur politique de gestion des déchets solides.

PARTIE II : VOLET « EAUX »

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le Bénin dispose réellement d'énormes ressources en eau renouvelables, cependant exploitées à moins de 1 %. Mobiliser judicieusement les ressources en eau superficielles, abondantes périodiquement, semble aujourd'hui une nécessité afin de satisfaire aux besoins croissants et diversifiés des populations, quand ces ressources se raréfient. C'est principalement le cas dans la région soudano-guinéenne béninoise, où les saisons sont bien marquées et les systèmes de production agricole, mixtes mais communs depuis une trentaine d'années, sont calqués/ajustés sur les rythmes saisonniers : cultures pluviales et élevage en campement, en saison pluvieuse ; cultures irriguées et transhumance, en saison sèche. Dans ce dernier cas de figure (dicté par les facteurs socioculturels, mais aussi et surtout par les contraintes écologiques), on assiste de plus en plus à une prise d'assaut massive des points d'eau connus et à une juxtaposition de cultures de décrue et de pâtures dans leurs espaces immédiats ; causes incontestables de l'épuisement rapide de la ressource et de conflits graves entre les divers usagers. Le projet « *Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome* » à Guessou-Sud, un village de la commune de Bembéréké, permettrait de sécuriser les intérêts des divers groupes sociaux, tout en préservant ces écosystèmes déjà fragiles.

Pour mener à bien ce projet, nous nous sommes intéressés à la connaissance précise de la ressource en eau potentiellement mobilisable afin d'outiller les autorités compétentes pour une maîtrise des eaux et de leur donner la démarche à adopter afin de répliquer cette expérience sur d'autres sites. Spécifiquement, nous avons comme objectifs :

- Préciser les caractéristiques biophysiques et socioéconomiques de la région afin de bien contextualiser et de justifier les actions à venir ;
- Connaître le contexte géologique, topographique, géotechnique et hydrologique du sous-bassin versant concerné et de la cuvette afin d'évaluer les termes des bilans hydrologiques ;
- Caractériser l'effectivité de la variabilité pluviométrique et des états de surface à l'échelle du bassin versant et évaluer les besoins en eau au niveau du site de la retenue afin de dimensionner objectivement la cuvette ;
- Proposer une stratégie d'harmonisation des activités à développer au pourtour de la retenue d'eau dans un souci de pérennisation de la ressource.

Pour cela, trois chapitres constituent ce volet de la thèse :

- Le premier chapitre fait l'état des lieux, cadre la gestion des ressources en eau au Bénin, fait un zoom concernant ces aspects dans le département du Borgou et présente les spécificités de ce département.
- Le deuxième chapitre contextualise la connaissance des ressources en eau sur le site de Guessou-Sud, décrit la méthodologie utilisée à cette fin et présente le bilan hydrologique du bassin versant et celui de la cuvette de la retenue d'eau.
- Le troisième chapitre pose les hypothèses de dimensionnement, dimensionne la retenue et propose un plan d'aménagement global de la vallée et un plan de gestion quantitative des eaux.

CHAPITRE 4

REVUE DE LA LITTERATURE

Lorsque tu ne sais pas où tu vas, regarde d'où tu viens...

Proverbe Africain

4.1. LES RESSOURCES EN EAU AU BENIN

4.1.1. Présentation du Bénin

a) Climat

Par sa situation en latitude (entre 6°30' et 12°30' de latitude nord), le Bénin appartient au domaine des climats chauds et humides de la zone intertropicale. Les températures maximales moyennes sur l'ensemble du pays varient entre 28°C et 33,5°C, tandis que les minimales moyennes fluctuent entre 24,5°C et 27,5°C. Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration calculées suivant la formule Penman sont comprises entre 3,7 et 4,8 mm/jour. [93] D'après "Le Bénin" d'ADAM et BOKO, en 1993, d'avril à novembre au sud et de juin à octobre au nord, souffle un vent humide venant de l'océan : c'est l'alizé maritime ou Mousson. De novembre à début mai dans le nord et de décembre à mars dans le sud souffle un vent sec venant du Sahara : c'est l'alizé continental ou Harmattan. Ces deux masses d'air (mousson et Harmattan) se repoussent alternativement vers le nord et vers le sud. Leur zone de contact, appelée Front Intertropical (FIT), est le siège de toutes les perturbations atmosphériques responsables des précipitations.

Le Bénin reçoit entre 700 et 1 300 mm par an de précipitations réparties sur 70 à 110 jours dans l'année. Le pays est caractérisé par deux zones climatiques bien définies, séparées par une zone de transition. Il s'agit de la zone sud au climat de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses par an, et de la zone nord au climat de type tropical continental (nord soudanien) avec une saison pluvieuse. Le centre du pays connaît un climat de transition qui s'apparente au climat subsoudanien. [93]

On y distingue : (i) le climat subéquatorial, (ii) le climat soudanien et (iii) le climat atacorien.

➤ Le climat subéquatorial (béninien)

Il règne au sud jusqu'à la latitude de Savè. Les températures sont élevées mais jamais excessives. Les maxima se situent en mars (26°C à Cotonou) et les minima en août (24°C). L'amplitude thermique journalière est supérieure à 10°C. L'humidité relative est élevée (70 à 90 %) à cause de la proximité de l'océan. C'est un climat à quatre saisons (une grande saison de pluies d'avril à juillet ; une petite saison sèche d'août à septembre ; une petite saison pluvieuse d'octobre à novembre et une grande saison sèche de décembre à mars).

➤ Le climat soudanien et ses deux nuances

- **Le climat sud soudanien** : Il couvre la région au nord du domaine subéquatorial jusqu'à la latitude de Bembéréké. Les passages du soleil au zénith sont déjà plus rapprochés et la petite saison sèche est à peine sensible. Les températures sont plus élevées avec une amplitude thermique journalière pouvant atteindre 10°C, des minima en août et des maxima en mars. Il y a deux saisons.

- **Le climat nord soudanien** : Les amplitudes thermiques journalières sont plus fortes, surtout pendant l'Harmattan. L'année se partage en deux saisons bien tranchées (une saison sèche de novembre à début mai ; une saison pluvieuse de mai à octobre). En effet, dans cette région, le soleil ne passe qu'une fois au zénith. La Mousson y arrive tardivement et s'en retire très tôt. par contre, l'Harmattan, et plus généralement l'air continental sec, y soufflent de novembre à mai apportant de fortes températures et la sécheresse, lesquelles sont plus marquées au-delà de la latitude de Kandi. Les minima moyens thermiques se situent en août.

➤ Le climat atacorien

Il couvre le nord-ouest du Bénin (chaîne de l'Atacora). Les températures sont plus fraîches à cause de l'altitude, mais les orages sont plus en plus fréquents. Cette région est parmi les plus arrosées du Bénin. Il pleut pratiquement d'avril à octobre à Natitingou qui enregistre plus de 1300 mm. A Boukoubé on enregistre aussi 1350 mm par an.

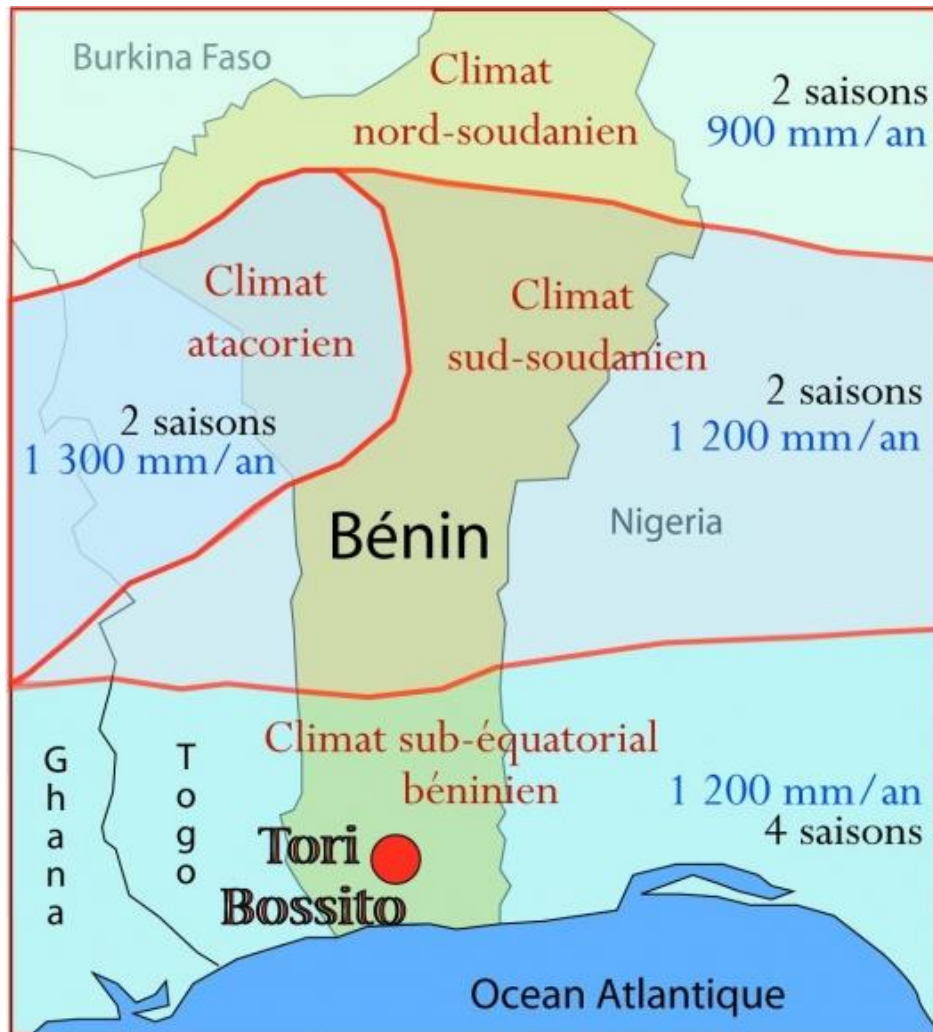


Figure 14 : carte climatique du Bénin (Source : Pierrat, 2011)

b) Relief, sols et végétation

➤ Le relief

Le Bénin présente un relief peu accidenté. Du sud au nord on distingue les cinq paysages morphologiques suivants :

- **La plaine côtière**, basse, rectiligne et sablonneuse. C'est un complexe de plusieurs cordons littoraux séparés par des bas-fonds marécageux et des lagunes, et qui emprisonne les lacs comme Nokoué et Ahémé au contact des plateaux. Son altitude n'excède pas 10 m.
- La zone intermédiaire, argilo-sableuse dite **plateaux de terre de barre** dont l'altitude varie entre 20 et 200 m. Elle fait suite à la plaine côtière par un talus irrégulier où se retrouve la dépression argileuse médiane de la Lama.
- **La pénéplaine granito-gneissique** (cristalline) occupe la plus grande partie du territoire béninois. Elle correspond à la zones des collines où les altitudes moyennes varient de 250 à 300 m. on y rencontre les collines de Dassa-Zoumé, de Savalou, de Bembéréké, de Sinendé, les mamelles de Savè, etc.
- **La chaîne de l'Atacora**, d'altitude comprise entre 400 et 700m, comporte deux bourrelets parallèles séparés par une dépression dans laquelle coule la section amont de la Pendjari. On y trouve le point le plus élevé du Bénin, sur le mont Sagbarao, culminant à 658 m.
- **Le plateau de grès de Kandi**, d'altitude moyenne de 250 m, légèrement incliné vers la plaine alluviale du Niger. Il couvre l'ensemble des bassins hydrographiques des rivières affluents du Niger côté béninois. [99]

➤ Les sols

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols ferralitiques occupent environ 80 % de la superficie du pays, suivis des sols hydromorphes (8 %), des sols minéraux bruts (7 %) et des sols vertiques (5 %). [93]

MAMA V.J., en 1998, donne la répartition des sols au Bénin et souligne qu'elle est presque calquée sur celle de ses paysages morphologiques.

- **Les sols faiblement ferralitiques de la terre de barre** sont largement répartis dans les départements du sud et la partie méridionale du Zou. Sur le plan zonal, ils correspondent au plateau Adja, au plateau d'Allada, au Zou-Sud et à la palmeraie porto-novienne qui ont fait l'objet d'une intense exploitation dans le cadre de la production du palmier à huile ;
- **Les sols faiblement ferralitiques indurés** sont localisés à Djougou ; ils s'appuient sur le massif de l'Atacora au nord et forment une bande nord-sud qui s'étend de Kouandé à Bassila le long de la frontière togolaise ;

- **Les sols ferrugineux tropicaux** sont les plus répandus avec plus de neuf millions d'hectares, soit 82 % de la superficie totale du pays. C'est actuellement la zone à forte potentialité agricole couvrant le Zou-Nord le Borgou-Sud et Centre, le sud de l'Atacora ;
- **Les sols sableux** des cordons littoraux longent la côte sur une largeur de 2 à 5 km ;
- **Les sols minéraux bruts**, qui sont des sols peu évolués caractérisent le massif de l'Atacora où l'érosion, très accentuée, constitue un important facteur de risque d'insécurité alimentaire pour les populations qui y vivent. Ces sols couvrent les sous-préfectures de Boukoubé, Cobly, Tanguiéta, Natitingou et plus à l'est, Kouandé et la partie orientale de Kérou ;
- **Les sols hydromorphes** se localisent dans le delta de l'Ouémé, en bordure du Niger, de la Pendjari et dans les vallées du Mono et du Couffo. De bon niveau de fertilité chimique, ils présentent une texture lourde et une faible perméabilité qui les rendent difficiles à mettre en œuvre ;
- **Les vertisols** ou terres noires qui sont des sols à argiles gonflantes et dont le profil présente une structure particulière, se localisent dans le sud (dépression de la Lama) et se répartissent en vertisols hydromorphes et vertisols lithomorphes ;
- **Les sols à mull** qui sont les sols bruns eutrophes (à humus évolué), se localisent en bordure du Niger, de l'Alibori à Djougou et à Savalou.

➤ La végétation

Les ressources phylogénétiques constituent les éléments majeurs des grands écosystèmes du pays, répartis suivant les différents domaines climatiques. [99]

- **Les écosystèmes du climat subéquatorial à quatre saisons**

Sous le climat tropical humide constitué de deux saisons de pluies et deux saisons sèches intercalées, on observe trois groupes d'écosystèmes à savoir : les écosystèmes de la plaine littorale, les écosystèmes des plateaux de terre de barre et les écosystèmes de la dépression argileuse de la Lama.

- Les écosystèmes de la plaine littorale regroupent :

Les formations des sols bien drainés c'est-à-dire des cordons sableux (anciens ou récents). Ils sont par des fourrés constituant soit des stades avancés de colonisation des cordons, soit des stades de dégradation d'une ancienne forêt littorale. Sur la plage, on observe une végétation pionnière essentiellement composée de plantes herbacées. Dans les cuvettes interdunaires pousse *Typha australis*.

Les formations des zones humides (lagunes et vasières) regroupent la forêt mangrove, constituée de palétuviers rouge et blanc longe les lagunes jeunes ; et la forêt marécageuse occupe les lagunes anciennes en voie de comblement. Il faut souligner que ces formations forestières sont, après dégradation, remplacées par des prairies marécageuses et autres cypéracées.

- La formation originelle des plateaux de terre de barre est la forêt dense humide semi-décidue dont on trouve les vestiges sous forme de lambeaux : forêt de réserve botanique de Pobè, les forêts sacrées ou forêts reliques de toutes tailles et de toutes les formes disséminées dans la région. Cette forêt a été détruite sous la pression humaine et remplacée par des cultures pérennes (agrumes, palmiers à huile, tecks) ou par des cultures vivrières. On rencontre par endroits des jachères, des formations graminéennes et des formations herbacées.
- La dépression argileuse de la Lama est un vertisol abritant une végétation particulière adaptée à sa contrainte édaphique. On y rencontre : *Ceiba pentandra*, *Azalia africana*, *Diospyros mespiliformis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Antianis toxicaria*, *Milicia excelsa*, *Mimousops sp.* La dépression est prise d'assaut par les cultures vivrières sous la poussée démographique. Il est resté de la forêt classée de la Lama de 16000 ha environ, conservée plus ou moins intacte jusqu'en 1996 où elle a été inventoriée.

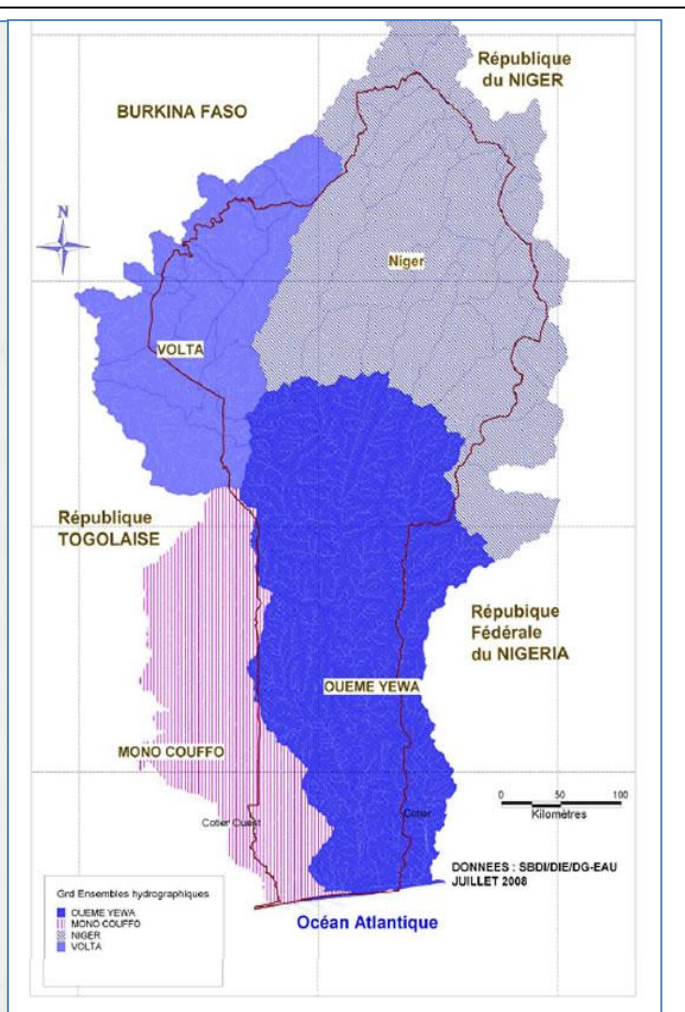
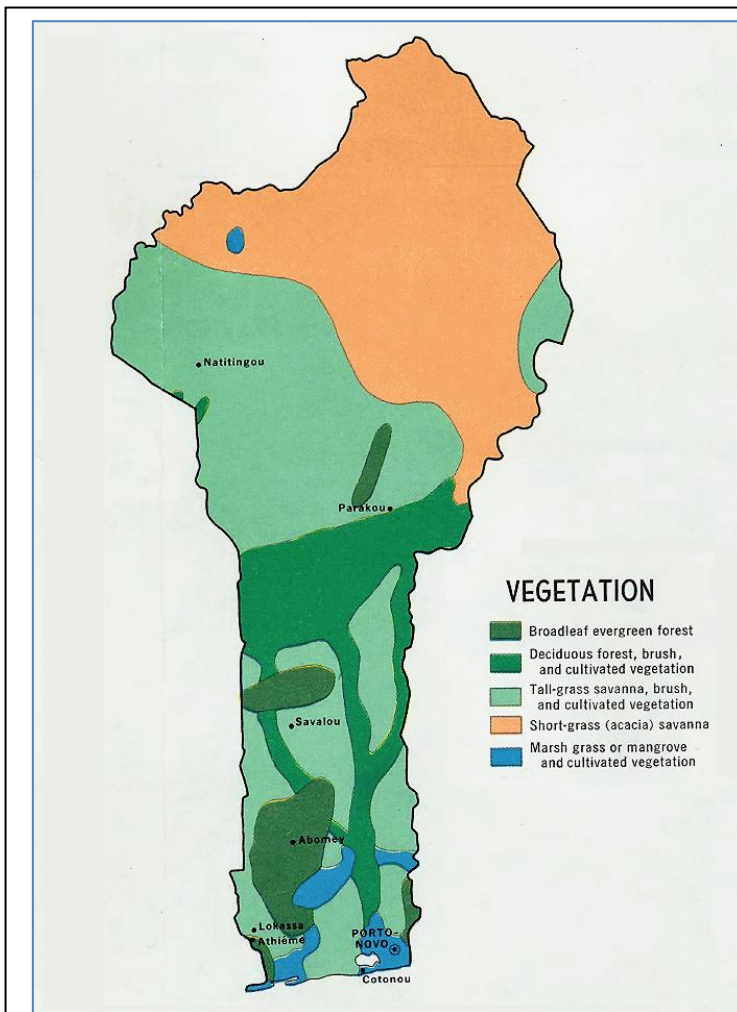


Figure 15 : formations végétales au Bénin

Figure 16 : ensembles hydrographiques au Bénin

- **Les écosystèmes du climat soudano-guinéen ou zone de transition ou zone de savane guinéenne**

La zone de savane guinéenne est comprise entre les 7^e et 9^e parallèles nord. On y rencontre des savanes arborées et arbustives. Dans cette zone, on rencontre *Daniellia oliveri*, *Parkia biglobosa* et *Terminalia glaucescens* sur les sols bien drainés, *Anogeisus leiocarpus*, *Acacia campylacantha* et *Terminalia macroptera* sur les sols hydromorphes, *Isobertinia docka* et *Detarium microcarpum* sur les sols sur cuirasses ou roches peu profondes. On y rencontre également des groupements herbacés parcourus par le feu chaque année ; des galeries forestières et îlots forestiers ; des cultures vivrières, la culture du coton et de l'arachide.

- **Les écosystèmes du climat soudanien ou zone de savane soudanienne**

Cette zone s'étend du 9^e parallèle nord au 12° 30' N à la frontière avec le fleuve Niger. Dans la partie sud de cette zone, la végétation est analogue à celle de la zone de transition. La végétation herbacée est dense dans les parties arbustives.

Dans la partie nord on constate la diminution de la taille des espèces ligneuses. On note la présence de *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Combretum nigracans*, *Boscia salicifolia*, *Boscia senegalensis*.

C'est aussi la zone des acacias. Dans les îlots de forêts denses sèches, on rencontre *Acacia ataxacanth* ; dans la savane, *Acacia macrostachya* est très disséminé ; et au bord des dépressions, *Acacia siberiana* constitue un arbre en peuplement clairsemé.

4.1.2. Estimation des ressources en eau au Bénin

La différenciation des ressources en eau au Bénin et leur quantification ont été abordées par plusieurs auteurs, lesquels ont précisé le rapport direct entre ces ressources, les précipitations et les éléments du milieu précédemment évoqués. Le Bénin reçoit en moyenne 1039 mm/an de précipitations, cela équivaut à 117.10^9 m³/an d'eau. La partie non évapotranspirée de ces précipitations alimente l'ensemble du réseau hydrographique et les nappes souterraines ; constituant ainsi les ressources en eau renouvelables.

a) *Les eaux superficielles*

Les eaux superficielles au Bénin comprennent les eaux de rivières et de marigots (Gbado à Savalou, Tiatiko à Natitingou, Tero à Djougou), les eaux de lacs et lagunes, les eaux de retenues et les eaux de fleuves. Les principaux fleuves du Bénin, leurs affluents et leurs réseaux lagunaires et lacustres définissent de grands ensembles hydrographiques. [82]

- ***Le Niger***, long de 120 km sur sa partie béninoise avec un débit saisonnier de 300 à 2100 m³/s), et ses affluents (la Mékrou : 10 500 km², le Kompa Gourou : 1 980 km²) ; les rivières Alibori (13 740 km²) et Sota (13 600 km²) constituent l'ensemble hydrographique du Niger.
- ***Le Mono*** (100 km de long avec un débit saisonnier de 0 à 300 m³/s), ***le Couffo*** (190 km de long avec un débit saisonnier de 10 à 900 m³/s), et leurs affluents ; les lacs Ahémé et Toho, et les lagunes de Grand-Popo et de Ouidah constituent l'ensemble hydrographique du Mono-Couffo.

- **La Pendjari** (380 km de long avec un débit saisonnier de 0 à 400 m³/s), formée par la confluence de la Kounne (550 km²) et de la Tigou (317 km²), et son affluent la Sarga (567 km²), représentent l'ensemble hydrographique de la Volta.
- **L'Ouémé** (510 km de long avec un débit saisonnier de 10 à 2000 m³/s), ses affluents (le Zou : 150 km et l'Okpara : 200 km), la lagune de Porto-Novo et le lac Nokoué forment l'ensemble hydrographique de l'Ouémé-Yewa, le plus important du Bénin.

Notons que le Bénin partage avec les Etats limitrophes, certains fleuves et affluents, à savoir entre autres : le Niger et son affluent le Mékrou, la Pendjari ainsi que l'Okpara (affluent de l'Ouémé). [99]

L'évaluation des ressources totales en eau superficielle au Bénin révèle qu'en dehors du fleuve Niger, les cours d'eau du Bénin drainent environ 13 milliards de m³ d'eau par an, comme le montre le tableau suivant.

Tableau 41 : Estimations des ressources superficielles (source : FAO, 2005)

| BASSIN | Station | Nombre d'années complètes | Moyenne sur la période | |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| | | | m ³ /s | *10 ⁶ m ³ /an |
| Pendjari | Porga | 38 | 59 | 1 881 |
| Niger | Malanville | 36 | 1006 | (31 725) |
| Mekrou | Kompongou | 28 | 18,5 | 583 |
| Alibori | Axe Kandi-Banikouara | 38 | 28 | 883 |
| Sota | Koubéri | 36 | 32,3 | 1 019 |
| Ouémé | Bonou | 48 | 172 | 5 424 |
| Couffo | Lanta | 22 | 4,8 | 151 |
| Mono | Athiémé | 44 | 101 | 3 185 |
| Total (sans le Niger) | | | 13 126 | |

b) Les eaux souterraines

Avant d'aborder les eaux souterraines, présentons le contexte géologique du Bénin. Le territoire béninois est constitué d'un socle cristallin, d'âge précambrien ; et de ses couvertures sédimentaires, formant trois grands bassins. Au Sud, on a le bassin Côtier, au Nord-Est le bassin de Kandi et au Nord-Ouest le bassin des Volta. Ils sont respectivement d'âge méso cénozoïque, paléozoïque et protérozoïque supérieur cambrien. Le socle cristallin est composé d'un ensemble de para gneissique mésozonal, des complexes migmatitiques, du complexe granulitique basique, d'orthogneiss granodioritique et granitique des micaschistes, des quartzites, des schistes, des intrusions magmatiques et des séries volcano sédimentaires. [109]

Sur la base de critères hydrogéologiques, on distingue au Bénin deux types d'aquifères : [109]

- Aquifères continus à porosité d'interstice : constitués du bassin sédimentaire côtier et du bassin de Kandi
 - **Le bassin sédimentaire côtier** : Il comporte schématiquement des aquifères, dont deux principaux, séparés par une puissante couche argileuse ou sporadiquement marneuse voire calcaire parfois à nodules phosphatées.

- L'aquifère monocouche et à nappe libre des sables du « Continental Terminal » (miocène supérieur - pliocène) qui se caractérise par une réalimentation aléatoire à l'exception, des zones de bordure.
 - L'aquifère monocouche des sables du crétacé supérieur (Turonien – Coniacien), il est à nappe libre au Nord et à nappe captive sous les argiles et marnes sénoniennes et maestrichtiennes au Sud, où il s'approfondit rapidement rendant son exploitation hypothétique.
 - L'aquifère des calcaires éo-paléocène, à nappe captive (sous des argiles du même âge et éocène), dont l'épaisseur varie de quelques mètres à un maximum de 30 m selon les régions.
 - L'aquifère des sables littoraux ou alluviaux du quaternaire dont les débits d'exploitation se limitent entre 1 m³/h à environ 20 m³/h. Cependant, une exploitation couplée avec les formations sous-jacentes du Continental terminal peut être envisagée dans certaines zones méridionales, là où ce dernier subsiste, ce qui devrait localement améliorer considérablement ces débits.
- **Le bassin sédimentaire de Kandi** : C'est la structure hydrogéologique la plus intéressante après le bassin sédimentaire côtier, bien qu'encore relativement peu explorée. Il comporte schématiquement deux aquifères.
- L'aquifère monocouche à nappe fréquemment libre des grès fins (tidaux) et microconglomérats supérieurs, présent dans certains secteurs de la partie centrale du bassin où l'épaisseur du réservoir est substantielle. Ces grès appartiendraient plutôt au Paléozoïque inférieur qu'au Crétacé. Cet aquifère est parfois surmonté du Continental Terminal stérile et/ou des alluvions du Niger. Les niveaux statiques dans les ouvrages se situent entre 5 et 15 m, les débits sont substantiels (10 à 40 m³/h) et le taux de succès des forages est supérieur à 80 %. Cet aquifère est exploité dans le cadre des programmes de forages d'hydraulique villageoise ;
 - L'aquifère monocouche de grès (fluviaux) et conglomérats inférieurs ; il est à nappe généralement captive sous les argilites et siltites des couches supérieures, avec possibilité d'artésianisme au Nord, vers les alluvions du Niger (Bodjécali notamment) ; c'est l'aquifère le plus étendu et le plus puissant du bassin, mais il est très peu connu car relativement profond, il est rarement capté par les ouvrages d'hydraulique villageoise.

Ces aquifères recèlent des ressources hydrogéologiques nettement plus importantes et, en général, plus facile à prospecter que ceux du socle ou des couvertures plus anciennes, même si ces ressources ne sont pas encore bien quantifiées.

- Aquifères discontinus à porosité de fissures : constitués des formations de couvertures anciennes et du socle.

Les formations de couverture anciennes sédimentaires ou non et les formations de socles présentent les mêmes caractéristiques hydrogéologiques : elles ne sont susceptibles de receler

de l'eau que lorsqu'elles sont altérées et /ou fracturées. L'aquifère type est un complexe bicouche zone altérée - zone fissurée, dont la qualité du réservoir est liée à l'épaisseur et la porosité utile des altérites ainsi qu'à la densité du réseau de fractures dans le substratum sain. Les altérites jouent un rôle plutôt capacitif tandis que les fractures ont un caractère essentiellement transmissif. Il est par conséquent judicieux de capter les deux niveaux.

La profondeur des ouvrages de captages est de 17 à 30 m pour les puits, moins de 45 m dans la plupart des cas pour les forages. Les forages sont productifs (pour un seuil de débit de 0,7 m³/h dans 50 à 80 % des cas selon les régions et la lithologie). Ce taux tombe cependant à 25 ou 30 % dans les quartzites de l'Atacora et certains gneiss. Dans les argilites, siltites et grès fins du voltaïen, les débits peuvent atteindre et dépasser 5 m³/h, mais restent généralement en dessous de 2 m³/h dans les autres formations ; les niveaux statiques se situent fréquemment entre 10 et 25 m.

La recharge totale du sous-sol est estimée au Bénin à 1,870 Milliards de m³ par an, soit une recharge moyenne de 166 m³/ha. [93]

Tableau 42 : estimations de la recharge annuelle des aquifères au Bénin

| Unité hydrogéologique | Superficie | Recharge annuelle | |
|---|--------------------|------------------------------------|----------------------|
| | (km ²) | (*10 ⁶ m ³) | (m ³ /ha) |
| Région du Socle | 90 400 | 1120 | 123 |
| Grès de Kandi | 10 000 | 125 | 125 |
| Bassin sédimentaire côtier | 11 150 | 600 | 500 |
| Alluvions du Niger et dépôts de la Pendjari | 1 052 | 25 | 1 250 |
| Total | 112 622 | 1 870 | 166 |

Il ressort de l'ensemble des données disponibles que le Bénin dispose réellement d'énormes ressources en eau renouvelables. Pour chaque habitant en 2004, elles ont été estimées à 3 815 m³. [93]. Penchons-nous dès à présent sur les besoins et usages qui s'attachent à ce potentiel.

4.1.3. Besoins et usages des ressources en eau au Bénin

Au Bénin, les besoins et usages des ressources en eau sont formulés en termes d'eau pour les collectivités, pour l'agriculture, pour l'élevage et pour l'industrie.

a) L'eau pour les collectivités

Les besoins des populations béninoises sont différents selon qu'on vit en milieu rural ou en milieu urbain. Les besoins moyens en eau potable ont été estimés à 20 l/j.hab et à 50 l/j.hab pour les collectivités rurales et urbaines, respectivement. En 2007 les besoins totaux en eau de la population béninoise, estimée à 7 833 744 habitants (dont 41,8 % urbaine), représentaient 93.10⁶ m³.

b) L'eau pour l'agriculture (et l'élevage)

Les besoins en eau pour l'agriculture au Bénin sont énormes comparativement aux autres besoins. Essentiellement de subsistance et presque exclusivement pluviale, c'est une agriculture extensive et itinérante sur brûlis, aux rendements et productions aléatoires car

tributaires des données climatiques. Il en découle que le pays ne connaît l'autosuffisance alimentaire qu'en année de bonne pluviométrie et de répartition spatio-temporelle favorable des précipitations. La superficie cultivée s'élève à 2,82 millions d'hectares, dont 2,55 millions sont des terres arables et 0,27 million des cultures permanentes. [93]. Concernant les ressources renouvelables en eau, les besoins pour l'agriculture se rapportent au développement de l'irrigation et du drainage afin de maintenir une production agricole variée pendant les périodes de soudure. La documentation existante évalue le potentiel hydro-agricole connu à 322 000 ha de terres irrigables, dont 117 000 ha de vallées et 205 000 ha de bas-fonds et plaines inondables. Cependant, l'irrigation au Bénin demeure embryonnaire et occupe une très faible frange de producteurs. Les terres équipées à des fins d'irrigation avec maîtrise totale de l'eau totalisent 10 973 hectares dont 9 349 ha sont des périmètres formels et 1 624 des périmètres informels. Les aménagements avec maîtrise partielle de l'eau intéressent 1 285 ha de bas-fonds équipés de diguettes isohypses de rétention dotées d'ouvrages de vidange et de régulation. [93]. L'évaluation chiffrée de ces besoins n'est pas précise en raison de divers facteurs (manque de calendriers culturels établis, extension des périmètres irrigués, absence ou non-fiabilité des données pour l'établissement de bilans hydriques parcellaires, etc.)

L'élevage occupe une place de choix dans le secteur agricole au Bénin. Il contribue à hauteur de 16 % au PIB agricole et à 6 % au PIB béninois. Le cheptel béninois a été évalué à 22 668 000 têtes en 2012 dont : 2 111 000 bovins, 842 000 ovins, 1 674 000 caprins, 398 000 porcins et 17 643 000 volailles. [100]. La ressource hydrique est l'un des facteurs essentiels de cette production animale. Les besoins en eau sont respectivement estimés à 39,2 ; 4,3 ; 10 et 0,5 l/j.tête pour les bovins ; les ovins et caprins ; les porcins et les volailles. [107]. Soit, environ 39.10^6 m^3 d'eau pour 2012. A ces besoins en eau pour le cheptel local, s'ajoutent ceux des troupeaux transhumants des pays voisins comme le Niger, le Burkina Faso, le Togo et le Nigéria.

c) L'eau pour l'industrie

Au Bénin, le secteur industriel n'est jusqu'à présent que partiellement développé et implanté surtout près des côtes. Actuellement, il y a trois grandes branches industrielles, ayant, comparé aux autres branches, un grand besoin d'eau. Parmi celles-ci on compte l'industrie des boissons, l'industrie du textile ainsi que l'industrie de transformation du bois. Jusqu'à présent, l'industrie ne joue qu'un rôle mineur dans la consommation totale en eau. Cependant, les experts béninois supposent qu'à l'avenir, un changement quant à de nouvelles branches industrielles (surtout l'industrie agroalimentaire) pourrait avoir lieu. Il en résulterait un besoin en eau accru. [98]

La satisfaction des besoins des principaux secteurs (collectivités, agriculture et industrie) passe par la mobilisation et l'utilisation des ressources disponibles que sont les eaux pluviales, les eaux superficielles et les eaux souterraines. Pour avoir une idée sur la sollicitation de ces ressources, nous présentons ici les résultats de la FAO, sur les estimations des prélèvements d'eau de surface et d'eau souterraines pour les différents usages.

Tableau 43 : prélèvements d'eau en fonction des usages au Bénin en 2001

| Usages | Quantités prélevées (*10 ⁶ m ³) |
|----------------------|--|
| Irrigation (2001) | 45 |
| Elevage (2001) | 14 |
| Collectivités (2001) | 41 |
| Industrie (2000) | 30 |
| Total (2001) | 130 |

Les ressources en eau du Bénin sont très peu utilisées. En 2001 chaque habitant a prélevé l'équivalent de 20 m³, soit 0,5 % des ressources en eau renouvelables réelles totales du Bénin. Sous cet angle, nous pouvons soutenir la thèse des milieux spécialistes selon laquelle les ressources en eau ne sauraient constituer un facteur limitant pour le développement socio-économique du Bénin à court et moyen termes. En 2005, Agossou et Sossou signalaient déjà qu'il y avait lieu de nuancer cette hypothèse optimiste au regard des tendances à la baisse du volume d'eau disponible liées à la baisse progressive de la pluviosité depuis une trentaine d'années et à la dépréciation de la qualité de l'eau. La satisfaction des besoins en eau, de plus en plus croissants et diversifiés, suggère donc la création d'un cadre favorable afin de pérenniser cette ressource.

4.2. CADRE GENERAL DE LA GESTION DES EAUX AU BENIN

L'eau est un bien commun et limité, de plus en plus sollicité mais inégalement réparti spatialement et temporellement au Bénin. Les caprices météorologiques couplées à l'exploitation incontrôlée ou anarchique des ressources disponibles et au développement des pratiques inappropriées contribuent de façon alarmante à la raréfaction et/ou à la dégradation des ressources en eau ; sources de tensions et de conflits parmi les usagers de l'eau, et de dysfonctionnements dans les usages et les systèmes hydrologiques. Pour garantir l'accès à tous les usagers de l'eau et préserver une qualité satisfaisante des ressources en eau tout en intégrant le volet environnemental, le Bénin dispose aujourd'hui d'un arsenal juridique et institutionnel qui est l'aboutissement d'une démarche graduelle de la définition et de l'application adéquate du droit de l'eau.

4.2.1. Cadre traditionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin

Bien avant qu'existe un cadre légal moderne pour la gestion des ressources en eau au Bénin, le droit civil coutumier et le droit colonial réglaient déjà de nombreuses questions, dont celle de l'eau dans le sens communautaire et dans le domaine foncier, respectivement.

a) Le droit coutumier

Le droit civil coutumier béninois, dans sa section V relative à la propriété et spécifiquement son article 223, dit que les sources et les puits font partie de la propriété collective du village et sont à ce titre, inaliénables. Il ajoute dans son article 224 que les rivières situées dans le domaine public religieux sont elles aussi inaliénables. Par ailleurs, le droit coutumier ignore la propriété privée du sol et l'on ne peut par conséquent détenir, de ce dernier, que l'usufruit (art. 225). En cela, ce statut ressemble fort à celui des *res communis* (choses communes) qui caractérise dans plusieurs pays d'Europe encore fortement imprégnés de droit romain, l'eau des cours d'eau. En France, par exemple, l'eau des fleuves et des rivières est insusceptible d'appropriation privée et l'usage en est commun à tous. [106]

b) Le droit colonial

Le droit colonial vient compléter le droit coutumier en s'occupant des affaires domaniales avec en plus certaines dispositions sur la salubrité, les régimes des eaux, la pêche...

De ces droits (coutumier et colonial) définissant les bonnes pratiques à adopter quant à l'utilisation rationnelle et collective des ressources en eau disponible sur le territoire béninois, ont été élaborés et/ou ajustés les textes et lois régissant la gestion actuelle des ressources en eau au Bénin.

4.2.2. Cadre juridique et institutionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin

a) Cadre juridique de la gestion des ressources en eau au Bénin

Les tous premiers instruments juridiques concernant la protection et la sauvegarde des ressources naturelles au Bénin ont été promulgués dans les années 80.

Il s'agit concrètement des lois n°87-15 et n°87-16 du 21 septembre 1987 portant Code d'hygiène publique et Code de l'eau, respectivement.

- Le code d'hygiène publique : considéré comme l'une des toutes premières sources générales du droit de l'environnement au Bénin, il traite de tous les domaines de l'environnement. Les dispositions qu'il comporte, applicables dans le domaine de l'eau, sont relatives aux aspects qualitatifs visant à préserver la santé humaine. [104]
- Le Code de l'eau concerne la protection quantitative et l'utilisation des eaux. Déjà dans son article 2, il classe les biens faisant partie du domaine public naturel et artificiel des eaux. Ainsi, la création de biens du domaine public artificiel des eaux telle que l'exécution de tout ouvrage de captage des eaux souterraines et de tout travail dans le lit ou au-dessus des eaux superficielles, est subordonnée à une autorisation préalable. De plus, par ses articles 36 à 39, les eaux souterraines et superficielles concernées bénéficient de mesures de protection contre les pollutions et de facilitation de gestion en vue de satisfaire ou de concilier les exigences de l'alimentation en eau potable ; de l'agriculture, de l'industrie, des transports et de toutes autres activités humaines d'intérêt général ; de la vie biologique du milieu récepteur et spécialement de la faune piscicole ; des loisirs, des sports nautiques ; de la protection des sites ; de la conservation des eaux. Les articles 51 et 52 listent les sanctions prévues en cas de violation de ces dispositions. Ces sanctions sont des mesures dissuasives permettant d'éviter toute sorte de pollution ou de dégradation de la qualité des eaux. [106]

A ces deux codes constituant le droit élémentaire de l'eau au Bénin, s'ajoute toute une série de décrets, ordonnances, accords et conventions en matière de protection et de gestion de l'eau. Sans toutefois les citer, intéressons-nous aux institutions chargées de leur mise en application concrète.

b) Cadre institutionnel de la gestion des ressources en eau au Bénin

Une diversité d'acteurs intervient, à divers niveaux, dans la gestion et l'utilisation des ressources en eau au Bénin.

➤ Les structures étatiques

Elles jouent le rôle central à travers quatre ministères-clés à savoir :

- **Le Ministère des Mines de l'Énergie et de l'Eau** (MMEE) à travers son principal organe exécutif qu'est la Direction Générale de l'Hydraulique (DGH) et ses directions techniques appuyées par le Secrétariat Technique pour la Promotion et la Coordination de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (STPC-GIRE).

Les principales missions de la DGH sont fixées par l'arrêté n°2003-01 MMEH/DC/SG/CT/DA/DH du 08 janvier 2003. Au niveau départemental, la DGH est représentée par ses structures déconcentrées que sont les Services de l'Hydraulique (SH) placés sous l'autorité des Directions Départementales des Mines, de l'Énergie et de l'Hydraulique. [96]

- **Le Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche (MAEP)** à travers ses organes exécutifs que sont (i) la Direction du Génie Rural (DGR) ; (ii) la Direction des Pêches (DP) ; (iii) la Direction de l'Elevage (DE) ; (iv) la Direction des Forêts et Ressources Naturelles (DFRN) ; (v) le Centre Régional de Promotion Agricole (CeRPA) ; (vi) le Centre National de Gestion des Réserves et de la Faune (CENAGREF). [96]
- **Le ministère de l'Environnement et la Protection de la Nature (MEPN)/ Ex-ministère de l'Environnement de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU)** à travers ses organes exécutifs que sont (i) la Direction de l'Environnement (DE) et l'Agence Béninoise de l'Environnement (ABE) ; (ii) la Délégation à l'Aménagement du Territoire (DAT), la Direction de l'Urbanisme et de l'Assainissement (DUA), l'Institut Géographique National (IGN). [96]
- **Le ministère de la Santé publique** : à travers la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de base (DHAB) et la Police sanitaire qui assurent la promotion de l'hygiène et de l'assainissement de base.

En dehors de ces principaux ministères, les autres ministères qui sont également impliqués dans la gestion de l'eau au Bénin à travers certains de leurs organes sont (i) le ministère des transports à travers l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNA) pour la collecte des données météorologiques ; (ii) le ministère du tourisme à travers la Direction du Tourisme et de l'Hôtellerie, joue un rôle dans la gestion des plans d'eau à caractère touristique ; (iii) le ministère de la recherche à travers les Universités de Parakou et d'Abomey-Calavi, les structures de recherche, et les centres de formation. [96]

➤ Les structures décentralisées (communes)

L'importante réforme réalisée au Bénin en 1999 ne prévoit qu'un seul niveau de décentralisation : la commune. Aux termes de l'article 2 de la loi n° 90-029 : « La commune constitue le cadre institutionnel pour l'exercice de la démocratie à la base. Elle est l'expression de la décentralisation et le lieu privilégié de la participation des citoyens à la gestion des affaires publiques locales ». En matière de protection et de gestion de l'eau, quatre articles définissent les compétences communales :

- **L'Article 93** dit que la commune à la charge (i) de la fourniture et de la distribution d'eau potable ; (ii) de la collecte et du traitement des déchets solides autres que les déchets industriels ; (iii) de la collecte et du traitement des déchets liquides ; (iv) du réseau public d'évacuation des eaux usées ; (v) du réseau public d'évacuation des eaux pluviales ; (vi) **des ouvrages d'aménagement des bas-fonds** et de protection contre les inondations ; etc.
- Dans l'**Article 94**, on peut relever que la commune veille à la protection des ressources naturelles, notamment des forêts, des sols, de la faune, des ressources hydrauliques, des nappes phréatiques et contribue à leur meilleure utilisation.
- **L'Article 95** énonce que « La commune veille à la préservation des conditions d'hygiène et de la salubrité publique notamment en matière (i) de prospection et de

distribution d'eau potable ; (ii) de périmètres de sécurité sanitaire autour des captages, forages et puits ; (iii) d'assainissement privé des eaux usées ; (iv) de lutte contre les vecteurs des maladies transmissibles ; (v) d'hygiène des aliments et des lieux et établissements accueillant du public ; (vi) de déchets industriels. La commune élabore la réglementation concernant l'assainissement individuel (latrines, fosses septiques, puisards) et initie toutes mesures de nature à en favoriser la promotion ».

- **L'Article 96** : La commune donne son avis chaque fois qu'il est envisagé la création sur son territoire de tout projet susceptible de porter atteinte à l'environnement. Elle prend en considération la protection des terres agricoles, des pâturages, des espaces verts, de la nappe phréatique, des plans et cours d'eau de surface dans l'implantation des différentes réalisations à caractère public ou privé. [106]

Ainsi, par les compétences que leur confèrent les lois sur la décentralisation, les communes sont au cœur du développement local sous la coordination et la tutelle des autorités centrales.

➤ Les structures villageoises (comités locaux de gestion)

Elles regroupent les utilisateurs même des ressources en eaux et les bénéficiaires directs des ouvrages et infrastructures hydrauliques spécifiques. On distingue selon les cas :

- **Les comités de gestion des points d'eau et des AUE** (Association des Usagers d'Eau) dont la mission essentielle (Décret n° 96-317 du 02 août 1996) est de promouvoir les systèmes communautaires d'alimentation en eau potable des populations et de gérer les équipements d'approvisionnement en eau de boisson ;
- **Les Comités de Gestion de Point d'Eau d'Hydraulique Villageoise et Pastorale** (petits barrages collinaires, forages et puits) : leurs membres sont élus par les populations bénéficiaires et sont chargés de veiller à une bonne gestion (exploitation et entretien) de ces équipements et infrastructures ;
- **Les comités de pêche** qui s'impliquent davantage dans la gestion des plans d'eau et de la pêche au niveau des pêcheries : le Comité de Pêche est créé à l'échelle du village, de groupes de villages, de Communes et a pour mission (i) l'information et la sensibilisation des riverains des plans d'eau sur les dispositions légales et réglementaires en matière de pêche ; (ii) l'appui pour la mise en œuvre des programmes d'aménagement et de gestion des plans d'eau ; (iii) la sauvegarde des pratiques traditionnelles visant la protection des ressources et du milieu aquatiques et (iv) le soutien à toute action visant une protection des berges des plans d'eau. [96]

➤ Les ONG et les partenaires au développement

Depuis quelques années déjà, on observe une montée en puissance de ces acteurs dont les apports ne sont plus à démontrer au Bénin dans la gestion des ressources en eau.

- **Les Organisations Non Gouvernementales (ONG)**, qu'elles soient nationales ou internationales jouent essentiellement un rôle d'intermédiation sociale : sensibilisation, information et communication, formation, appui à la recherche de financement, etc.

- **Les partenaires au développement** appuient le pays pour la construction d'infrastructures hydrauliques et commencent par s'investir timidement dans les aspects liés à la promotion de la gouvernance de l'eau. Il s'agit principalement des Coopérations danoise, belge, allemande, française, néerlandaise, de la Banque Mondiale (BM), du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), de l'Union Européenne, du GWP, etc. [96]

Le secteur eau au Bénin connaît encore aujourd'hui des failles et insuffisances quant à la mise en œuvre de son arsenal juridique. En effet, en 2005, Agossou et Sossou récapitulaient déjà à partir du rapport du GWP/WA, ces faiblesses majeures et leurs effets. Ce sont (i) la multiplicité d'intervenants détenant ou s'attribuant des rôles et responsabilités à volonté ; (ii) la méconnaissance des textes, actes et lois régissant le secteur eau par l'ensemble des acteurs y compris par la plupart de ceux qui sont chargés de veiller à leur mise en application sur le terrain et (iii) la non application par le passé des textes et lois devenus obsolètes pour des raisons d'inadaptation au contexte social actuel et aux engagements pris par l'Etat au niveau international. Leurs effets sont des chevauchements de compétences, des conflits d'attributions et des dysfonctionnements qui favorisent et entretiennent l'anarchie et le désordre actuellement observés dans le secteur eau au Bénin.

4.3. CONTRAINTES ET DEFIS POUR LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU DANS UN CONTEXTE D'AGRO-PASTORALISME DANS LE DEPARTEMENT DU BORGOU AU BENIN

4.3.1. Présentation générale du département du Borgou

a) Localisation et milieu physique

Le Borgou, avec pour chef-lieu Parakou, est l'un des douze départements que comporte le Bénin. Il est situé à l'Est du Bénin, à la frontière avec le Nigéria, et est constitué de huit communes (Bembéréké, Kalalé, N'Dali, Nikki, Parakou, Pèrèrè, Sinendé et Tchaourou).

Son climat, de type soudano-guinéen, est caractérisé par une saison pluvieuse (mi-mai à mi-octobre) et par une saison sèche. La pluviométrie annuelle oscille entre 1100 et 1200 mm. Les sols ferrugineux tropicaux, développés sur un substratum granito-gneissique, sont les plus fréquents. Ils sont peu profonds et de fertilité moyenne. Par ailleurs, on y rencontre également des sols ferralitiques faiblement altérés sur les grès du Crétacé ; des sols minéraux bruts sur cuirasse ou affleurements de roches et des sols hydromorphes dans les bas-fonds (dépressions et lits des cours d'eau).

La zone appartient au domaine de la savane guinéenne. La végétation est donc composée de savanes boisées, arborées et arbustives ; de groupements herbacés ; de galeries forestières et d'îlots forestiers. La zone comprend la ligne de partage des eaux des ensembles hydrographiques de l'Ouémé et du Niger, à la hauteur de Bembéréké. Elle regorge de nombreux plans et cours d'eau à régime temporaire majoritairement et la recharge de la nappe y est estimée à 123 m³/ha, puisque située dans la région du socle.

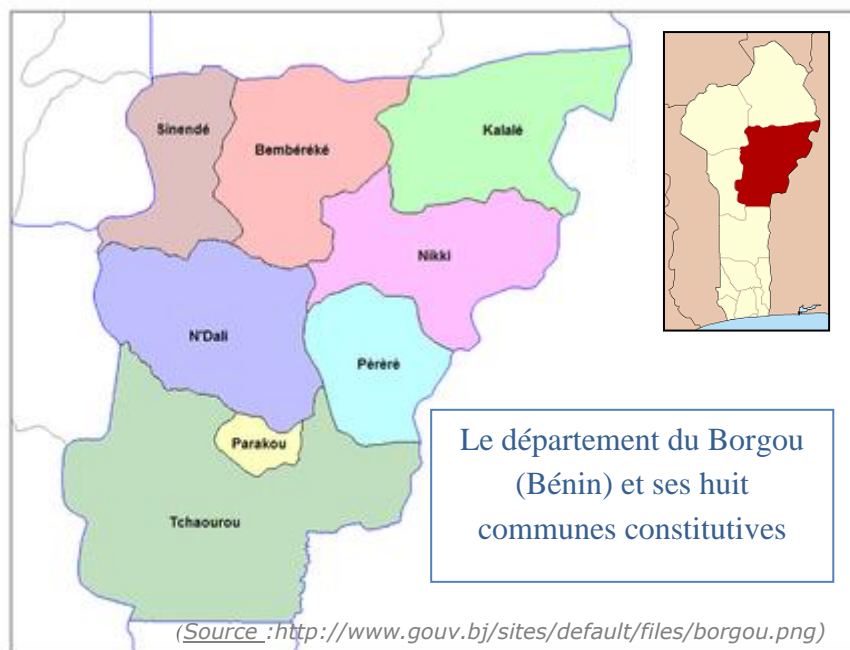


Figure 17 : situation du département Borgou au Bénin

b) Milieu humain

Le département du Borgou s'étend sur une superficie de 25 856 km² et sa population, estimée à 724 171 habitants en 2002 (soit une densité moyenne de 28 hab/km²), est la résultante d'un brassage ethnique essentiellement constitué des Bariba et apparentés, des Peuhl et apparentés.

Les Bariba sont majoritaires. Ils sont organisés en classes sociales reflétant leurs origines diverses. Ses composantes sont les Wasangari, cavaliers d'origine Boko, ils composent la royauté de Nikki ; les Baatonou, chefs de terre autochtones sont des artisans et cultivateurs à l'origine ; les Gando, descendants des prisonniers ; et les étrangers (Peulh, Dendi, Haoussa et Wangara). Ces étrangers se sont sédentarisés et ont noué des liens solides avec les ethnies préexistantes par des politiques de cohabitation parfois assimilation, alliances et mariages.

Les Peulh du Nord-Bénin, donc ceux rencontrés dans le Borgou, sont des pasteurs nomades originaires du Nigéria pour la plupart. Ils y auraient développés une stratégie de survie, se mettant sous la protection des Wasangari. Ils se disent invités, donc inférieurs et les Bariba leur doivent protection. Des liens se sont noués, avec des échanges de services. Ces Peulh possédaient d'importants troupeaux et échangeaient fumure, viande et produits laitiers contre lopins de terre qu'ils faisaient cultiver par leurs anciens esclaves Gando. L'esclavage étant aboli aujourd'hui, les Peulh se mettent à la culture et se sédentarisent quand c'est possible à la périphérie des villages. [101]

De nos jours, à la faveur d'une dynamique de colonisation de l'espace (immigration des éleveurs sahéliens d'abord à la recherche de verts pâturages et de points d'eau pour leurs troupeaux, puis installés et progressant de plus en plus du Nord vers le Sud depuis les années soixante-dix et quatre-vingt de sécheresse) ; cette population s'est bien diversifiée et on y distingue les autochtones (Baatombu, Dendi, Peulh, Boko), les autres ethnies nationales (Fon, Adja, etc.) et les étrangers (principalement les sahéliens). De ce mélange ethno-culturel, les Bariba (40 %) et les Peulh (30 %) demeurent clairement identifiables grâce à leurs activités qui combinent à la fois agriculture et élevage. [20]

4.3.2. Place de l'agro-pastoralisme dans le Borgou

a) Zones agro-écologiques d'appartenance

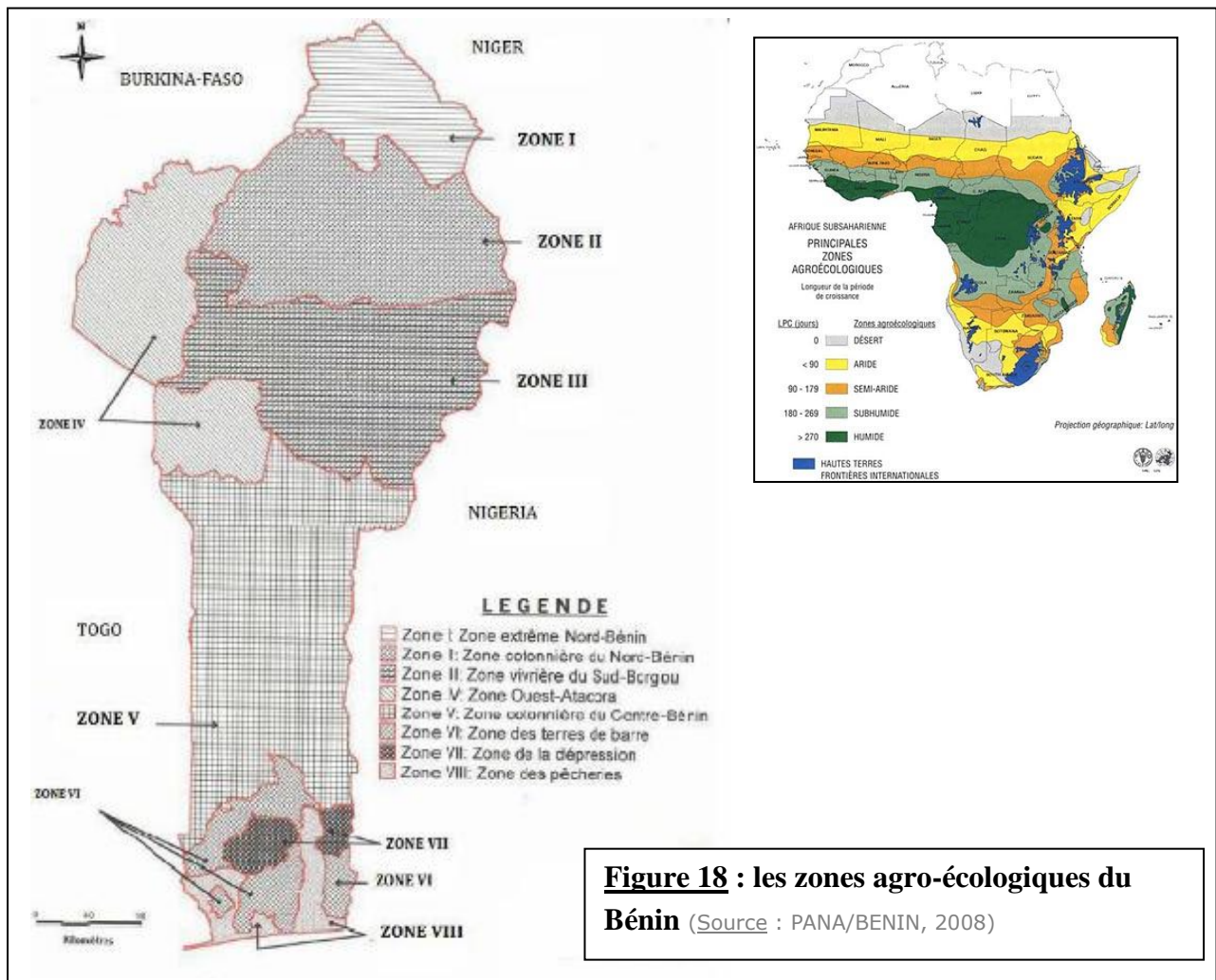
Les conditions naturelles au Bénin laissent observer du Sud au Nord, une transition progressive des zones sub-humides, très propices pour la production agricole, vers des zones semi-arides, moins favorables à la production agricole en Afrique. A l'intérieur du Bénin, on distingue spécifiquement 8 zones agro-écologiques dont les potentiels agricoles varient avec les conditions physiques, biologiques et sociales qui y règnent. Le département du Borgou, s'étend sur deux de ces zones à savoir :

- La zone III, dite zone vivrière du Sud Borgou : elle regroupe les communes de Bembéréké, Kalalé, N'Dali, Nikki, Pèrèrè et Sinendé. Avec une période de croissance végétative allant de 180 à 210 jours, c'est la zone de culture de l'igname, du coton, du maïs et de l'anacarde par excellence ; on y observe une saison de culture par an.

Les communes de Bembéréké et Sinendé sont celles où la culture du coton est la plus ancienne.

- La zone V dite, zone cotonnière du Centre Bénin : C'est la zone de culture de céréales, tubercules, et légumineuses ; le coton y est récemment cultivé. Dans le sud de cette zone, on observe deux saisons de culture sur l'année, tandis qu'au nord (Parakou, Tchaourou) il y a une tendance à la réduction de la petite saison sèche et une évolution vers une seule saison pluvieuse. C'est la zone de transition entre le climat subéquatorial (tropical humide) à deux saisons pluvieuses et le climat soudano-guinéen à une saison pluvieuse.

Au Bénin, Ces deux zones sont qualifiées de favorables à la production agricole en plus d'une disponibilité des terres arables élevée due à une densité de population relativement faible (< 40 hab/km²).



b) Agro-pastoralisme comme moteur économique dans le Borgou

Le secteur agricole occupe une place de choix dans l'économie béninoise. En effet, il crée 70 % des emplois et constitue 30 % du PIB au Bénin. [95]. C'est une agriculture pluviale

extrêmement sensible à la variabilité climatique, portée sur les cultures vivrières (tubercules, légumineuses, céréales) et surtout sur la principale culture de rente qu'est le coton. La filière coton participe à hauteur de 14 % au PIB national et mobilise 60 % du tissu industriel béninois. Elle constitue de ce fait le principal levier de l'économie béninoise. [83]. L'élevage, la pêche et la production forestière restent des domaines importants pour ce secteur.

Le département du Borgou n'échappe pas à cette tendance nationale. Cependant, la culture du coton y occupe près de 50 % des terres cultivables. A côté de cette principale culture de rente, on retrouve en second lieu l'arachide et le maïs ; et des cultures vivrières. Ce département est le premier producteur national de coton et d'igname ; le deuxième producteur national de maïs et de haricot. L'élevage est la deuxième activité des populations de la région. Les principales espèces élevées sont les bovins et les petits ruminants. Ainsi, la culture du coton (et des vivres), de l'igname et l'élevage sont les principaux facteurs économiques de la région.

c) Caractéristiques de l'agro-pastoralisme dans le Borgou

L'agriculture et l'élevage au Bénin et plus précisément dans le Borgou a connu de changements majeurs et présentent de nos jours des facettes adaptatives.

- Avant les années 1970-1980, l'agriculture était exercée principalement par les Bariba qui étaient les propriétaires terriens ; et l'élevage était l'apanage des Peulh qui en détenaient les secrets.

L'agriculture était de type traditionnel, donc destinée à la consommation familiale et parfois soutenue par d'autres activités (élevage domestique, petit commerce, artisanat) afin de constituer une réserve mobilisable pour la satisfaction des besoins familiaux. Elle était tournée vers la production vivrière et dans une moindre mesure vers les cultures de rente (coton, arachide) ; et était caractérisée par une main d'œuvre familiale, une utilisation d'instruments rudimentaires, des superficies cultivées restreintes et des rendements faibles par hectare. Les agriculteurs Bariba possédaient généralement quelques têtes de gros-bétail (10 à 50 têtes) qu'ils confiaient aux Peulh. Ces derniers pratiquaient un élevage traditionnel extensif reposant sur l'exploitation de pâturages naturels et de résidus de récoltes. Le système d'élevage était du type semi-transhumant en raison de la rareté de l'eau et du fourrage en saison sèche. Notons que ce système semi-transhumant était développé par les Peulh autochtones, ayant un point d'ancrage dans la région et se déplaçant uniquement durant la période de soudure à la recherche de l'herbe fraîche et de l'eau pour les troupeaux ; la période de soudure achevée, ils retournaient dans leurs campements permanents où ils vauquaient secondairement aux travaux champêtres de subsistance. Par ailleurs, la région recevait durant ces périodes de soudure des éleveurs pasteurs venant d'autres coins du Bénin et du Sahel.

Les deux activités étaient complémentaires et les groupes interdépendants à cette époque. Les Bariba pratiquaient principalement l'agriculture, et l'élevage était une activité secondaire pour renforcer la capacité de satisfaction de leurs besoins les plus essentiels ; les Peulh pratiquaient principalement l'élevage, et l'agriculture renforçait la satisfaction de leurs besoins alimentaires. Les relations entre ces deux groupes étaient symbiotiques et donnaient lieu à une gestion satisfaisante des ressources naturelles. Les Peulh accordaient leur utilisation d'espace au cycle agraire des agriculteurs baribas et après la récolte, les bêtes paissaient dans les

champs de chaume et y déposaient leur fumier ; en contrepartie, les agriculteurs offraient aux Peulh une certaine quantité de grains : c'est le contrat de fumure. Les agriculteurs confiaient leur bétail aux Peulh pour l'élevage et en échange, le berger peulh gardait le lait et une partie des veaux : c'est le contrat de gardiennage. [90]

- Après les années 1980 : à la suite de plusieurs évènements, des changements importants s'opèrent dans les modes de vie des populations du Borgou.

La sécheresse qui a frappé toute la sous-région dans les années 80 et le maintien d'une certaine instabilité climatique ont eu pour effets directs l'immigration massive des Peulh des pays voisins vers le Nord-Bénin et une sédentarisation d'une partie de ces Peulh. A cela s'est ajoutée dans la même période une croissance démographique sans précédent, à tel point que le département connaît une évolution constante de la densité de sa population. Cette densité passe de 18 hab/km² en 1992 à 28 hab/km² en 2002 et atteint 36 hab/km² en 2010. Son taux d'urbanisation (43 %) est parmi les plus élevés du Bénin après le Littoral (100 %) et l'Ouémé (44 %). [83]. L'élevage et l'agriculture sont mis à mal : les aires de pâture et les disponibilités en eau diminuent ; des dégâts aux cultures sont fréquents.

La promotion de la culture attelée afin de valoriser au maximum les potentialités de la région a eu pour effets : l'extension des aires cultivées et l'augmentation de la production globale des exploitations. En effet, en 1992, le département du Borgou renfermait 86 % du nombre total d'attelages opérationnels au Bénin. [89]. Les excédents de production, alors vendus sur les marchés locaux, concourent à l'augmentation des revenus des familles et de leur niveau de vie. Les paysans se tournent progressivement vers l'agriculture commerciale car l'extension des terres cultivées profite à une diversification de cultures, sources de revenus (légumineuses, vivres, légumes et condiments). L'augmentation du prix du coton après la dévaluation et l'octroi des crédits aux cultivateurs ont renforcé le développement de la culture attelée pour des exploitations en perpétuelle extension et l'utilisation d'engrais chimiques au détriment de la fumure organique. L'élevage est désormais couplé à l'agriculture : les agriculteurs acquièrent de plus en plus des paires de bœufs pour le labour et s'en occupent personnellement. Cette innovation fait perdre aux Peulh le monopole qu'ils avaient traditionnellement sur l'élevage. [91]. Hellendorff, en 2012, affirme que le nombre d'animaux élevés par les fermiers sédentaires du Sahel a même aujourd'hui dépassé celui des pasteurs nomades. Conjointement, les éleveurs peulhs diversifient leurs activités : les Peulh de plus en plus sédentarisés s'adonnent au commerce des produits laitiers et aux travaux champêtres importants où ils se sont même révélés redoutables, en plus d'être d'excellents pasteurs.

La combinaison de plusieurs facteurs est donc à l'origine de l'agro-pastoralisme, perçu comme une technique d'adaptation et d'ajustement écologique et socioculturel. Les nouveaux systèmes agropastoraux concernent beaucoup de pasteurs sédentarisés, développant la culture pour diversifier leur économie domestique ; et une proportion désormais très importante de cultivateurs qui ont introduit l'élevage comme élément de diversification économique mais également d'amélioration des systèmes techniques et de productivité. [87]. La cohésion entre les Peulh et les Bariba a bien diminué : les deux groupes ne sont plus complémentaires mais concurrentiels. Cette concurrence est majoritairement basée sur les ressources communes que sont la terre et l'eau.

4.3.3. Agro-pastoralisme et gestion des ressources en eau dans le Borgou

a) L'eau : un facteur de production commun à l'agriculture et à l'élevage

Les systèmes de cultures pratiqués dans le Borgou sont les cultures pluviales (cultures de rente, cultures vivrières) ; les plantations et les vergers (anacarde, fruits, banane) et de plus en plus les cultures irriguées (céréales, légumes, condiments, etc.). Si plus haut nous avons signalé l'extension des exploitations agricoles et leur diversification en général, il convient de préciser ici l'intérêt des paysans pour les cultures irriguées. Bien que ne rivalisant pas avec les superficies irriguées des départements comme l'Atlantique, le Littoral et le Zou, pour ne citer que ceux-là, les cultures irriguées dans le Borgou progressent remarquablement. Alors que le CENATEL estimait seulement à 260 ha la superficie qu'occupaient les cultures irriguées dans tout le département en 1992.

L'augmentation des superficies irriguées augmente l'offre de produits frais pendant les périodes de soudure et génère des profits pour les ménages ; cependant, elle augmente également les besoins en eau pour cette production. L'eau étant donc au cœur de ce système de culture ; Aquastat, le système mondial d'information sur l'eau de la FAO, au-delà des chiffres sur les superficies irriguées, va les différencier par rapport à la source d'eau utilisée pour l'irrigation. Ainsi, pour les 33 ha formels irrigués à Parakou, 10 ha le sont par les eaux souterraines ; 16 ha par les eaux superficielles et 7 ha par un mélange d'eaux souterraines et d'eaux de surface.

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'élevage est la seconde activité économique dans le Borgou mais sa spécificité réside dans le fait que cet élevage est dominé par les bovins. En effet, les départements du Borgou et de l'Alibori renferment 69 % de tout le cheptel bovin du Bénin. En 2010, on estimait le nombre de bovins dans le Borgou à 606 952 têtes et ce nombre est en perpétuelle augmentation. [85]. Les systèmes d'élevage bovin pratiqués sont du type semi-transhumant (par les populations autochtones) et du type transhumant (par les Peulh étrangers). Ces modes d'élevage sont dictés non seulement par les facteurs socioculturels (affirmation de l'identité nomade des Peulh) ; mais aussi et surtout par les contraintes écologiques (sécheresse et manque périodique d'eau et de pâtures). L'eau est également au cœur de ces systèmes d'élevage avec des besoins en eau pour les bovins estimés à 40 l/j.tête.

Pour satisfaire les besoins en eau pour l'élevage bovin et pour les cultures irriguées, les eaux superficielles restent les plus sollicitées. Mais l'accès à cette ressource est une source de tensions permanentes dans un département comme le Borgou, sujet aux caprices météorologiques.

b) L'eau et les conflits agro-pastoraux dans le Borgou

Les chiffres sur les superficies réellement irriguées dans le Borgou sont défaillants, car l'installation des exploitations irriguées et des parcelles maraîchères se fait encore majoritairement de façon anarchique. Cependant, son potentiel irrigable a été estimé à 35 000 ha dans les 205 000 ha de bas-fonds potentiellement irrigables pour l'ensemble du Bénin. [86]

Le développement et l'extension des cultures irriguées autour de points d'eau disponibles naturellement ou mis à disposition sont observés pour la simple raison que l'eau y est facile d'accès en saison sèche. Parallèlement, pendant la saison sèche chaude, les points d'eau pour l'abreuvement des troupeaux sont constitués de puits, de marres et de petits barrages déjà ceinturés par les cultures. De plus, les pâturages disponibles en saison sèche, souvent constitués d'arbres fourragers et d'herbacées, ont été remplacés par les cultures.

Pour les éleveurs, l'extension de ces cultures constitue un obstacle à leur mobilité ; ils ne peuvent plus emprunter leurs itinéraires traditionnels de transhumance sans empiéter sur les cultures de fermiers. Ainsi, les dégâts portés aux cultures par le bétail sont une cause de conflits entre les agriculteurs et les éleveurs. [97]

Les rares points d'eau, désormais d'accès difficiles aux pasteurs, sont devenus des lieux de convergence et de rassemblement de troupeaux venant de toutes parts. Cet envahissement périodique des points d'eau maintient et aggrave parfois la fragilité des relations qui existent entre les éleveurs autochtones et les éleveurs étrangers ; et entre les éleveurs et les fermiers.

La juxtaposition des cultures de décrue et des pâtures dans les zones hydromorphes peut conduire à une insuffisance d'eau pour satisfaire à la fois aux besoins en irrigation et à l'abreuvement du bétail. Cette situation est souvent une source de conflits graves parfois meurtriers entre et au sein des éleveurs, agriculteurs et agro-pasteurs.

Pour ces populations partageant le même territoire de façon permanente (autochtones) ou pas (immigrants), et pour lesquelles les ressources en eau sont un moyen commun de production et une condition de vie et d'existence, la gestion de cette ressource s'avère urgente afin de relever les défis actuels et futurs.

c) La gestion durable des ressources en eau : une nécessité

L'émergence de faits dommageables à laquelle on assiste dans le Borgou n'est qu'une manifestation locale traduisant la situation générale qui prévaut dans toute la zone sahélienne. Selon Hellendorff, les conflits agro-pastoraux sont des conflits sociaux avant tout. Ils mettraient en scène le jeu micro politique entourant l'accès aux ressources locales. Le climat et ses variations ne présenteraient qu'un apport contextuel à des dynamiques de transformation potentiellement positives et négatives.

Les principaux groupes sociaux sahéliens, hétérogènes de par leurs origines ont su gérer dans le temps leur antagonisme dans le partage des ressources locales au travers de rapports symbiotiques favorisant la consolidation du monopole sur leurs activités traditionnelles. La diversification de ces activités, en réponse notamment aux contraintes et défis environnementaux, a abouti de nos jours à la pratique de systèmes de production mixtes alliant simultanément culture et pastoralisme (agropastoralisme). [97]. En effet, l'Afrique subsaharienne abrite plus de 25 millions de pasteurs et plus de 200 millions d'agropasteurs. [108]. Cette diversification s'est traduite par une dissolution de la spécialisation socioprofessionnelle avec des effets néfastes sur les rapports de coopération qui maintenaient dans un état de latence leurs divergences intrinsèques.

Par ailleurs, cette diversification a pour effet la convergence des moyens et méthodes de production susceptible d'augmenter les intérêts partagés et les relations liées à leurs activités de production désormais communes. [97]

Une gestion durable des ressources en eau permettrait non seulement de revaloriser des systèmes de propriété collective, mais permettrait également de relever les défis plus globaux que sont la pauvreté, l'insécurité alimentaire, le changement climatique et l'insécurité internationale.

CONCLUSION DU CHAPITRE 4

Le Bénin est un pays qui dispose d'énormes atouts naturels parmi lesquels, ses ressources renouvelables en eau. Leur estimation a permis de soutenir qu'elles ne pourraient constituer un facteur limitant pour le développement de ce pays à court et à moyen termes. Ces ressources hydriques sont très peu exploitées quand on compare les quantités potentiellement disponibles aux moyennes prélevées pour la satisfaction des principaux besoins liés aux collectivités, à l'industrie, à l'agriculture et à l'élevage. Ces ressources sont malheureusement mal exploitées car l'anarchie et le désordre qualifient encore précisément le secteur de l'eau au Bénin. Cet état des choses est maintenu tel quel par des dysfonctionnements résultant de superpositions de rôles et responsabilités d'acteurs multiples intervenant dans ce secteur. Il tend même à s'amplifier par l'inapplication des lois et règlements sensés régir le secteur de l'eau au Bénin ; du fait de leur méconnaissance ou de leur inadéquation car ils n'intègrent pas les dynamiques d'évolution et de transformations démographiques en cours. Le zoom fait sur le département du Borgou, illustre bien ces propos à travers la mise en exergue de disparités que cachent les valeurs moyennes et les données générales nationales. De ces disparités ressortent des spécificités locales, mais caractéristiques d'un plus grand contexte régional, qui valent la peine d'être prise en considération dans la définition et la mise en œuvre d'une politique de l'eau qui se veut locale et durable ; mais ayant des portées plurielles et internationales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)

- [82] **ADAM et BOKO, 1993.** Le Bénin. Les éditions le Flamboyant/EDICEF, 95 p.
- [83] **AFOUDA *et al.*, 2008.** Fonctionnement des organisations de producteurs de développement local : cas du département du Borgou au Bénin. Economie régionale, 95 p.
- [84] **AGOSSOU et SOSSOU, 2005.** Inventaire, typologie et description des pratiques liées aux divers usages de l'eau au Bénin. PNE/Bénin, Protos Bénin. Rapport final, 118 p.
- [85] **BACO *et al.*, 2012.** Documentation de la problématique et des pratiques de gestion durable de la portion du bassin du Niger au Bénin. PNEB, rapport final. 137 p.
- [86] **BAH N'GOBI, 2011.** Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou. Mémoire de Master, Fondation 2iE. 53 p.
- [87] **BLEIN *et al.*, 2008.** Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest. FARM, CEDEAO. 119 p.
- [88] **BOESEN *et al.* 1998.** Regards sur le Borgou : pouvoir et altérité dans une région Ouest-Africaine. L'Harmattan.
- [89] **CENATEL, 2002.** Base de données géoréférencées sur l'utilisation agricole des terres au Bénin. Contrat n°23428/FAO du 6/06/2002. Rapport final, 20 p.
- [90] **DE HAAN L.J., 1992.** Changements dans les modes de vie au Nord Bénin et leurs effets sur l'environnement. Dossier, le courrier n°33 mai-juin 1992, pp 88-90.
- [91] **DE HAAN L.J., 1997.** Agriculteurs et éleveurs au Nord-Bénin. Ecologie et genres de vie. Karthala, collection « Hommes et Sociétés ». 215 p.
- [92] **Direction du développement et de la coopération suisse, 2011.** Programme Appui suisse au renforcement de la gouvernance locale dans le département du Borgou. Coopération Bénin/Suisse. Phase 2 : 1^{er} janvier 2012-31 décembre 2015. Document de programme, 82 p.
- [93] **FAO/AQUASTAT, 2005.** L'irrigation en Afrique en chiffres (Bénin). Enquêtes AQUASTAT, 11 p.
- [94] **FAO/AQUASTAT, 2010.** Indicateurs Aquastat pour l'irrigation en eau des périmètres agricoles dans les régions du Bénin. 16 p.
- [95] **FIDA, 2014.** Œuvrer pour que les populations rurales se libèrent de la pauvreté au Bénin. Fond International de Développement Agricole. 8 p.
- [96] **GWP/WA, 2004.** Evaluation de la gouvernance de l'eau au Bénin : analyse de la situation et actions prioritaires. Global Water Partnership/West Africa. 58 p.
- [97] **HELLENDORFF, 2012.** Changement climatique et conflits agro-pastoraux au Sahel. GRIP, note d'analyse. 14 p.
- [98] **IMPETUS, 2010.** Demande en eau des secteurs (ménages, industrie et agriculture) compte tenu des conflits éventuels relatifs aux ressources hydriques.

- [99] **MAMA V.J., 1998.** La gestion de l'information sur les sols et les eaux pour la sécurité alimentaire au Bénin. Atelier sous-régional sur la gestion de l'information des sols et des eaux pour la sécurité alimentaire. CENATEL-FAO. Rapport du Bénin, 45 p.
- [100] **MEGNIGBETO H., 2013.** Etat des ressources génétiques animales au Bénin. Direction de l'élevage Cotonou-Bénin. Ppt, 44p.
- [101] **PASSOT B., 2011.** Le Bénin : les hommes et leur milieu. Guide pratique. L'Harmattan, 354p.
- [102] **PIERRAT C., 2011.** Risque palustre : appréhender la vulnérabilité des individus à l'échelle locale (Sud du Bénin). VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement. Volume 11 Numéro 3 | décembre 2011, mis en ligne le 20 décembre 2011, consulté le 24 janvier 2014.
- [103] **PIGE J., 2003.** Zonage géographique et typologie de fonctionnement des exploitations agricoles. PADSE. Département de l'Alibori, du Borgou, des Collines et du Zou. Synthèse des résultats des missions d'appui au volet enquêtes villageoises (octobre 2000-mai 2001). 64 p.
- [104] **République du Bénin, MAEP, 2003.** Répertoire des textes sur le foncier et les ressources naturelles renouvelables. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche. 44 p.
- [105] **République du Bénin, MEPN, 2008.** Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin. PANA-BENIN. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature. 81 p.
- [106] **République du Bénin, MMEH, 2004.** Etat des lieux du cadre juridique et institutionnel du secteur de l'eau. Appui à la gestion des ressources en eau au Bénin. Projet AGRE. Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique. 117 p.
- [107] **SANOU D., 2010.** Problématique de la satisfaction durable des besoins en eau autour des barrages de Fara et de Guido. Mémoire de Maîtrise, Université de Ouagadougou. 95 p.
- [108] **SNV, 2012.** Améliorer les moyens d'existence des populations pastorales. Note thématique de la SNV, n° 2, janvier 2012. 8 p.
- [109] **UNICEF, 2009.** Etude de la faisabilité des forages manuels. Identification des zones potentiellement favorables. Rapport final, 34 p.

CHAPITRE 5

CONNAISSANCE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

Connaître, c'est comprendre toute chose au mieux de nos intérêts...

Friedrich NIETZSCHE

CHAPITRE 5 : CONNAISSANCE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

5.1. CADRE CONTEXTUEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

5.1.1. Description de la zone d'étude

a) Le milieu géophysique

Guessou-sud est l'un des villages que compte l'arrondissement de Ina, lui-même situé dans la commune de Bembéréké. L'arrondissement de Ina est limité au sud par N'Dali et au nord par Bembéréké.

Le climat de Guessou-Sud, comme celui de Bembéréké est du type soudano-guinéen, avec des précipitations annuelles chiffrées autour de 1170 mm. On y distingue, comme dans toute la zone soudano-guinéenne, deux saisons bien marquées et l'Harmattan y souffle de décembre à janvier. Son altitude moyenne est estimée à 485 m. Ce village est situé dans le grand ensemble hydrographique de l'Ouémé et appartient au domaine des savanes arborées et arbustives. Les sols sont ferrugineux tropicaux et ferralitiques dans l'ensemble.

b) Caractéristiques urbaines, démographiques et socio-économiques

L'arrondissement de Ina s'étend sur 691 km², et comptait 16 558 habitants en 2002, soit une densité de population de 24 hab/km². C'est l'arrondissement le plus vaste et le moins peuplé après Bouanri (1087 km², 18 hab/km²), du fait de son caractère strictement rural. Il est composé de 9 villages (quartiers), sous l'autorité d'un délégué. Le village de Guessou-Sud, situé à 20 km au sud de Bembéréké, comptait 4613 habitants en 2002, répartis dans 612 ménages dont 395 ménages agricoles (64,5 %).

Avec un taux de croissance démographique de 2,95 %, la population de Guessou-Sud est estimée à 6171 en 2012, soit environ 819 ménages (taille moyenne d'un ménage 7,5 personnes). Les unités d'habitation sont concentrées dans des concessions longeant la route inter-état Cotonou-Niamey. Le village de Guessou-Sud, tout comme la commune de Bembéréké, est composé en majorité de deux groupes sociolinguistiques : les Bariba (et apparentés) et les Peulh (et apparentés).

Les activités économiques dominantes sont l'agriculture, le commerce et la restauration. Les filières agricoles porteuses sont le maïs, le manioc, le karité, l'anacarde et l'élevage. La base de l'alimentation dans ce village ne diffère pas de celle de la commune Bembéréké à laquelle elle appartient ; donc constituée d'igname, de maïs et de mil.

Le taux d'accès des populations à l'eau potable y est de 42 %, c'est l'un des plus bas du Bénin. Les populations ont recours aux sources, mares et puits peu sûrs, pour se procurer de l'eau de consommation. La pénibilité pour se procurer de l'eau potable dans ce village laisse directement entrevoir celle plus accrue, de disposer de l'eau pour les autres usages.

5.1.2. Cadre de la connaissance des ressources en eau du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

a) Historique de la retenue de Guessou-Sud

L'activité pastorale est reconnue comme la principale après l'agriculture dans la commune de Bembéréké. Elle est pratiquée dans tous ses arrondissements constitutifs et portée vers les bovins, les ovins et les caprins. La commune occupe le 2^{ème} rang pour l'élevage bovin dans le département du Borgou. Les chiffres récents sur la taille de son cheptel font défaut, mais le tableau suivant nous donne une idée pour l'année 1999.

Tableau 44 : taille du cheptel de la commune de Bembéréké en 1999 (source : AP-REGIA, 2010)

| bovins | ovins | caprins | porcins | volaille |
|--------|--------|---------|---------|----------|
| 71 559 | 22 963 | 13 746 | 711 | 71 296 |

Fort de son cheptel, la commune a bénéficié de l'aménagement de plusieurs petits ouvrages hydrauliques à but pastoral et agropastoral dans les années 80, après l'épisode de sécheresse qu'a connu toute la zone sahélienne. A cette époque, l'élevage bovin était l'apanage des Peulh autochtones qui pratiquaient la petite transhumance pendant la saison pluvieuse, pour éviter les dégâts aux cultures ; et la grande transhumance pendant la saison sèche, à la recherche de pâturages et de points d'eau d'abreuvement. Trouver des points d'eau qui perdurent pendant toute la saison sèche était devenu très difficile. Cela les poussait à parcourir d'énormes distances avec pour conséquences, des délocalisations et migrations progressives et massives vers le Sud. Cette population peuhle, déjà marginalisée et très pauvre, voyait ses moyens de production s'amenuiser en plus du fait qu'elle devait désormais les partager avec un nombre de plus en plus croissant de pasteurs étrangers venant des villages et des pays limitrophes.

Face à cela, l'état béninois avait trouvé urgent, en soutien aux activités de base des populations des zones d'élevage, de multiplier les points d'eau pour l'abreuvement du bétail en saison sèche. C'est ainsi que la commune de Bembéréké a bénéficié au total de 11 de ces ouvrages, répartis comme suit : 6 barrages à usage agropastoral et 5 mares surcreusées à usage pastoral ; parmi lesquelles, la retenue de Guessou-Sud. Ces retenues ont été placées sous le contrôle de comités locaux de gestion, sensés en assurer l'entretien et l'accès équilibré aux éleveurs. A l'analyse des faits, force a été de constater des défaillances dans le fonctionnement desdits comités locaux, lesquelles ont entraîné une dégradation des sites et le comblement progressif des ouvrages. Pour pallier à ces insuffisances et exploiter de façon optimale les opportunités qu'offrent de tels ouvrages, les autorités communales de Bembéréké ont mis en route le projet REGIA « Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome », sur les sites de Guessou-Sud et de Pédarou.

b) Description du projet « Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome » à Guessou-Sud

➤ Objectifs du projet

Le projet REGIA a pour objectif principal la mise en œuvre d'un mécanisme de gestion performante, intégrée et autonome de la retenue d'eau de Guessou-Sud.

Les objectifs spécifiques assignés à ce projet sont : (i) appuyer la mise en place et le fonctionnement de la structure des REGIA ; (ii) renforcer l'aménagement des retenues d'eau ; (iii) accompagner les communautés dans la mise en œuvre d'activités génératrices de revenus ; (iv) assurer la mise en œuvre d'un partenariat entre les structures de gestion et la mairie de Bembéréké ; et (v) accompagner la commune dans la gestion du projet.

Ce projet s'inscrit dans une démarche de développement local durable, avec tous les impacts possibles, dont les plus significatifs sont d'ordre social (renforcement de la sédentarisation des Peulh, promotion de la scolarisation des enfants et de la santé familiale, renforcement du tissu social) ; économique (diversification d'activités économiques, accroissement des revenus des acteurs, contribution au développement local à travers le prélèvement de la Taxe de Développement Local) ; et environnemental (culture d'arbres fourragers et fertilisants, reboisement de la zone et lutte anti-érosive).

➤ Principales actions envisagées par le projet

Les principales étapes opérationnelles pour atteindre les objectifs du projet sont :

- **Mise en place de la structure de gestion du projet REGIA à Guessou-Sud** : information et sensibilisation des populations riveraines sur l'importance de la REGIA, mise en place de l'Association de Promotion de la REGIA et d'une équipe projet ;
- **Aménagement de la retenue et mise en place des infrastructures** : nettoyage et aménagement des abords de la retenue, surcreusement et empoissonnement de la retenue, aménagement du périmètre maraîcher, installation des équipements d'arrosage goutte-à-goutte, aménagement des étangs piscicoles ;
- **Formation et sensibilisation** : formation en gestion administrative et financière d'une ASBL, formation en gestion des conflits, formation en technique améliorée de maraîchage et de pisciculture moderne, formation en production de compost et en lutte biologique contre les insectes, voyage d'étude et d'échange à Bessassi et à Malanville, suivi opérationnel du projet.

Ces actions devraient aboutir à l'opérationnalisation de la REGIA à Guessou-Sud avec toutes ses retombées positives qui portent essentiellement sur l'amélioration des conditions de vie et de travail des Peulh et des autres riverains.

➤ Devenir du projet après la fin du financement extérieur

L'ensemble des dépenses relatives à la réalisation du projet est constitué des dépenses liées aux investissements, à la sensibilisation et l'information initiale de masse, à la formation et au fonctionnement de l'équipe projet.

Toutes ces dépenses sont totalement couvertes par le projet la 1^{ère} année (2011) ; année d'enracinement du projet. Les frais de suivi et d'encadrement des bénéficiaires constituent les seuls frais relatifs aux activités des années suivantes. Ainsi, dès la 2^{ème} année, le projet prévoit prendre en charge, à hauteur de 50 %, les frais de l'équipe projet et d'arriver à l'autonomie financière à partir de janvier 2013 ; ce qui n'a pas été le cas, suite à diverses difficultés.

Les charges fonctionnelles annuelles dès 2013, entièrement à la charge du comité de gestion de la REGIA, se réduisant aux frais de carburant et d'entretien du personnel, s'élèvent à 900 000 FCFA (1372 €). A ces charges fonctionnelles s'ajoute la redevance annuelle à payer à la mairie par les bénéficiaires du projet. Le montant exact de cette redevance n'a pas encore été arrêté ; cependant, il sera décidé d'un commun accord entre les acteurs concernés sur base de la convention de partenariat entre la mairie de Bembéréké et le comité de gestion de la REGIA.

Toutes ces charges annuelles devraient être supportées par les activités maraîchères, piscicoles et pastorales développées au niveau du site de la retenue. Chaque exploitant devrait donc s'acquitter d'un montant forfaitaire selon son activité et leur capacité à s'acquitter de ce montant n'est pas remise en cause. En effet, les observations faites sur les expériences du même type à Bessassi, dans la commune voisine de Kalalé, ont permis de prouver la rentabilité financière du maraîchage et de la pisciculture. Les éleveurs peulhs seront également soumis à une taxe forfaitaire d'usage de la retenue.

Le paiement de ces taxes serait donc sensé assurer la pérennité de l'action ; mais, qu'en est-il de la pérennité de la disponibilité en eau ?

5.1.3. Approche méthodologique

La connaissance des ressources en eau du bassin versant de la retenue d'eau de Guessou-Sud a été effectuée pour répondre d'abord à la question qui portait sur la disponibilité de l'eau pour les divers usages, ce qui se traduit encore par l'expression du potentiel de mobilisation de l'eau au sein de l'ouvrage. Il nous fallait donc montrer l'effectivité des quantités d'eau qui transitent au sein de l'ouvrage, avant d'entrevoir les proportions qui pourraient y être stockées afin de mener à bien les activités prévues. Pour ce faire, la méthodologie employée se résume à un ensemble d'études combinant à la fois les aspects théoriques et pratiques de la collecte, du traitement et de l'exploitation des données.

a) Localisation exacte de la retenue et collecte des données disponibles

Cette étape, indispensable pour la suite des travaux, a consisté à la descente sur le terrain afin d'avoir les coordonnées géographiques d'un point situé à la sortie de la cuvette de la retenue, à l'aide d'un GPS. À partir de cette donnée, il nous était possible de faire une localisation grossière de cette retenue à l'intérieur d'ensembles constitutifs plus vastes (ensemble hydrographique, zone agro-écologique, type d'aquifère, etc.). Il s'en est suivi une collecte de données et d'informations disponibles sur le bassin versant concerné dans les universités, instituts de recherche, ministères ; et au travers les études antérieures en rapport avec la problématique traitée.

b) Etudes climatologiques

Elles ont consisté de façon spécifique en des analyses statistiques des températures et des données pluviométriques de la zone d'étude ; la caractérisation des différentes saisons, de l'évapotranspiration et des vents dans la zone d'étude. A cet effet, nous disposons des données de la station météorologique de Ina situé à une dizaine de kilomètres de la retenue, obtenues auprès de l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar), des données d'évaporation mesurée à l'aide d'un bac Colorado installé par nos soins au sein de la cuvette et des données pluviométriques mesurées à l'aide de deux pluviomètres installés par nos soins également sur le site. Nos mesures ont été réalisées de mars à avril et d'août à septembre 2012.

c) Etudes hydrologiques

Elles portaient sur la délimitation du bassin versant de la retenue ; la caractérisation hydromorphométrique du bassin versant (morphologie, relief, réseaux hydrographiques) ; le calcul des apports liquides au sein de la cuvette ; la détermination des débits de crue.

Pour la délimitation du bassin versant, nous avons essayé de la faire manuellement à partir des lignes de crête ; par la suite, nous avons utilisé le logiciel ENVI-4.5, qui, à partir d'un point que nous avons considéré objectivement comme exutoire, nous a proposé un bassin versant associé. L'image utilisée a été obtenue par le capteur ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) du satellite de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) lancé en décembre 1999.

Les éléments hydromorphométriques du bassin versant ont été, soit tirés des observations et mesures sur le terrain, soit déduits de l'esquisse du bassin versant correspondant et/ou exprimés à l'aide de formules empiriques extraites de la littérature.

Le calcul des apports liquides au sein de la cuvette a été fait à partir de l'établissement de la formule du bilan hydrologique du bassin versant et de l'expression de chacun de ses termes à l'aide de formules empiriques et de l'ampleur des divers processus hydrologiques qui s'y déroulent.

d) Etude de la retenue d'eau

Il s'est agi d'étudier de façon détaillée la cuvette de la retenue et son pourtour. Cela devrait permettre la détermination du contexte géologique du site et de la cuvette, l'identification et la caractérisation des matériaux présents ; la caractérisation de la retenue d'eau et l'établissement des courbes hauteur-volume-surface ; les mesures de l'infiltration et de l'évaporation (estimation des pertes) au sein de la cuvette ; et l'établissement du bilan hydrique de la retenue.

5.2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

5.2.1. Présentation du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

a) *Présentation générale*

Le bassin versant de la retenue de Guessou-sud appartient au grand ensemble hydrologique de l'Ouémé-Yewa, au bassin versant de l'Ouémé et au sous-bassin versant du Yéro-Marou. Il est situé très en amont, dans les zones considérées comme sources et les coordonnées géographiques de son exutoire sont : N 10°01'42,80'' ; E 02°37'18,54''. Cet exutoire, accessible en automobile, est situé à 4 km à l'Ouest du centre de Guessou-Sud.

Le bassin versant est situé au cœur de la savane arborée et arbustive ; il repose sur le socle cristallin de la partie supérieure et centrale du bassin de l'Ouémé, constitué de roches métamorphiques alternées par des roches éruptives sur la totalité. La roche type est un Gneiss à biotite. C'est la zone des aquifères discontinus, l'aquifère type est un complexe bicouche zones altérées-zones fissurées. Les zones d'altération argilo-sableuses, d'épaisseur variant de 10 à 30 m, sont exploitées par des puits qui tarissent en saison sèche ; alors que les ouvrages de captage réalisés dans les zones fracturées et fissurées de la roche sous-jacente, sont pérennes.

Les sols sont de deux types : (i) les sols à sesquioxydes de fer et de manganèse constitués de sols ferralitiques et de sols ferrugineux et (ii) les sols hydromorphes à pseudo-gley. On y rencontre également, mais dans une très faible proportion, des sols minéraux bruts et des affleurements rocheux. L'étude hydrologique réalisée dans le bassin versant du Tiapalou, par Sircoulon en 1964, nous donne une idée sur les aptitudes de ces sols au ruissellement.

➤ Les sols à sesquioxydes de fer et de manganèse

Ils sont de 2 types dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud :

- **Les sols faiblement ferralitiques** : de couleur rouge, ils sont situés dans les parties les plus élevées du bassin versant et occupent 50 % de la superficie du bassin. Leur perméabilité est faible en surface et s'accroît en profondeur grâce à la bonne structuration des horizons. Ainsi, le ruissellement sur ces sols provient d'un mauvais drainage des horizons de surface.
- **Les sols ferrugineux tropicaux lessivés** : ils sont situés le long des versants et occupent 45 % de la superficie du bassin. Ils présentent des profils laissant apparaître à des profondeurs variables, une discontinuité de texture et de couleur assez nette. Les horizons supérieurs, beiges clairs à gris beige clairs, renferment de rares concrétions et sont peu structurés. Leur perméabilité est faible (6 mm/h). Les horizons inférieurs, bariolés de rouge et d'ocre, sont argilo-sableux, fréquemment indurés et très bien structurés. Leur perméabilité est bien plus importante (40 mm/h). [119]

Le ruissellement peut y être observé pour des intensités de pluies même faibles, mais un écoulement au niveau de la discontinuité texturale ne peut se réaliser avant la saturation complète des horizons argilo-sableux de profondeur.

➤ Les sols hydromorphes à pseudo-gley

Ils occupent le fond de tous les talwegs. Ce sont des sols à hydromorphie temporaire représentant environ 5 % de la superficie du bassin. En effet, les variations de couleurs de ces sols observées indiqueraient qu'ils subissent un engorgement temporaire pendant lequel le fer passe partiellement à l'état réduit, conférant au sol une teinte grisâtre (saison pluvieuse) ; lorsqu'ils s'aèrent (saison sèche), le fer s'oxyde et précipite localement sous forme de tâches ocres ou rouilles pouvant devenir des concrétions. Leur perméabilité est faible (7 mm/h) et leur capacité de rétention est élevée (25 %). [119]

b) Morphométrie du bassin versant

Elle nous donne une idée sur les caractéristiques de l'écoulement en rapport avec la forme, les classes d'altitude, la pente, etc.

➤ La forme

L'indice de pente de Gravelius est l'un des indices morphologiques les plus utilisés pour caractériser la forme d'un bassin versant. Il caractérise la compacité d'un bassin versant et permet la comparaison de plusieurs bassins versants. Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_{CG} = K_G = 0,28 * P/S^{0,5}$$

C'est le rapport entre le périmètre du bassin versant au périmètre d'un cercle ayant la même surface. Ainsi, pour un bassin circulaire, $K_G = 1$; cette valeur augmente au fur et à mesure que la compacité diminue.

L'aire délimitée par les contours du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud représente 18,32 km² ; pour un périmètre de 19,3 km. Son indice de pente de Gravelius est :

$$I_{CG} = K_G = 0,28 * 19,3 / (18,32)^{0,5} = 1,26$$

Ce bassin versant a donc une **forme peu allongée**.

➤ Le rectangle équivalent

Le bassin versant est assimilé à un rectangle de même périmètre et dont les dimensions (longueur : L_e ; largeur : l_e) sont déduites des formules suivantes de ROCHE :

$$L_e = [K_G * S^{0,5}] * [1 + (1 - (1,2/K_G)^2)] ; l_e = P/2 - L_e$$

Ainsi le rectangle équivalent au bassin versant de la retenue de Guessou-Sud a pour dimensions :

$$L_e = [1,26 * (18,32)^{0,5}] * [1 + (1 - (1,2/1,26)^2)] = 6,047 \text{ km} ; l_e = 19,3/2 - 6,047 = 3,603 \text{ km}$$

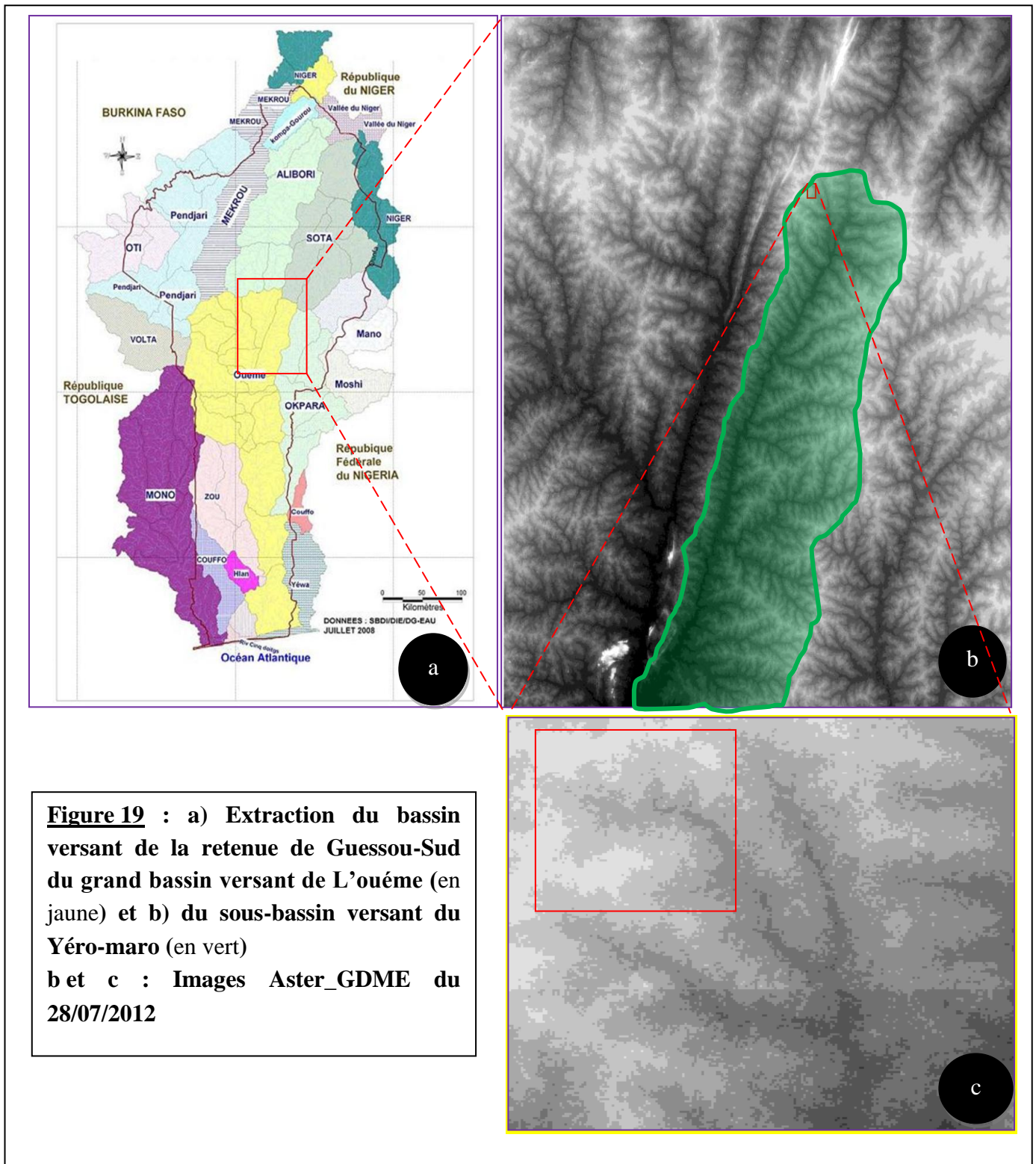




Figure 20 : visualisation de la projection des contours du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud (auto-délimité : en blanc, proposé par Envi_4.5 : en rouge) sur Google earth.

Par ce que la délimitation du bassin versant par nos soins (auto-délimitation), à partir des lignes de crêtes, n'est qu'approximative ; nous avons considéré la proposition, bien plus précise, obtenue du logiciel Envi_4.5.

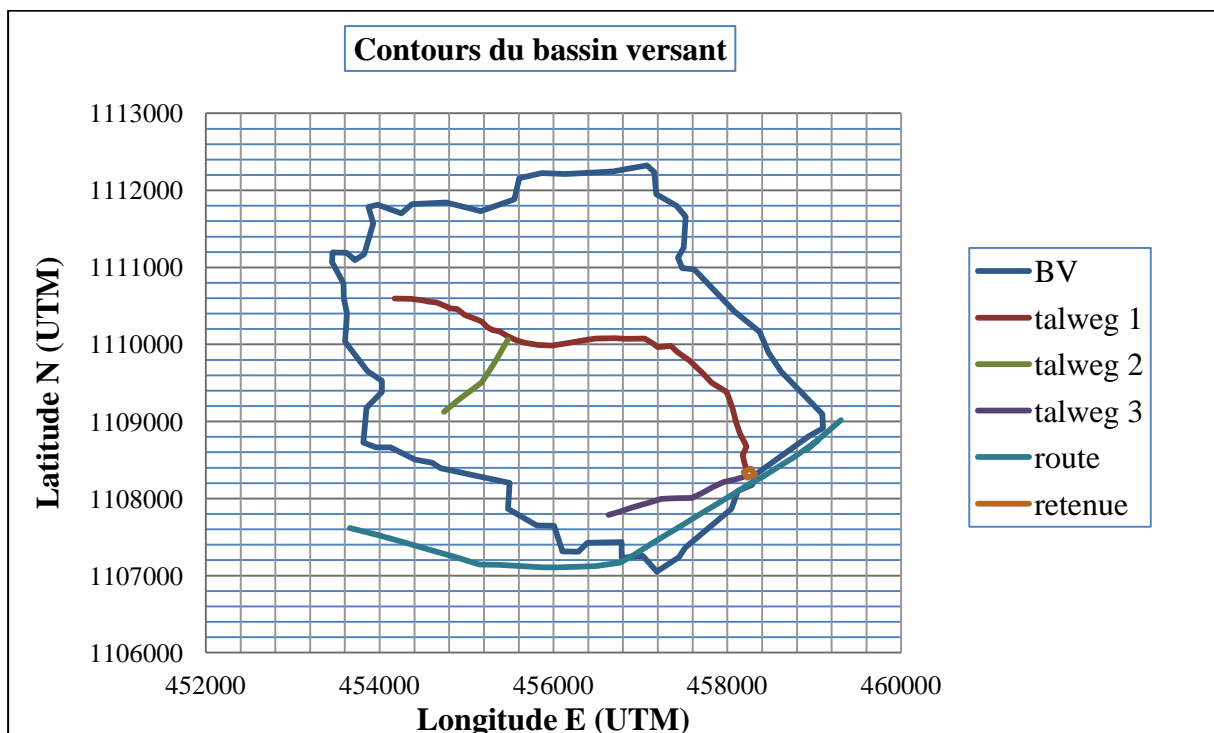


Figure 21 : contours du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud en UTM (zone P31)

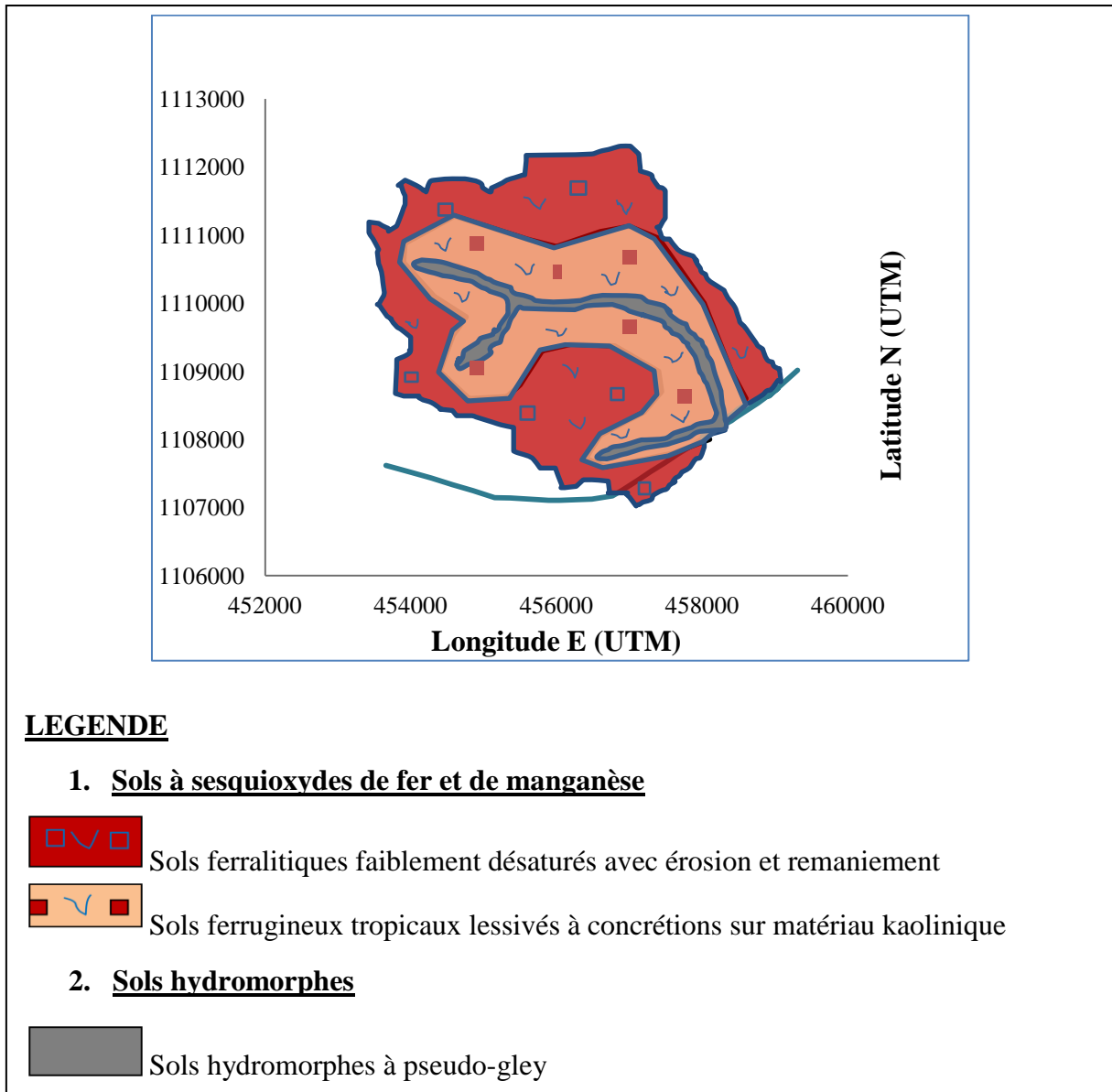


Figure 22 : carte des sols du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud (extraite et adaptée de la carte des sols du Bénin)

➤ Caractéristiques des altitudes

C'est le relief qui est présenté ici, sachant qu'il a une influence notable sur l'écoulement, par le moteur que constitue la pente. Plusieurs indices et paramètres définissent les éléments du relief d'un bassin versant, parmi lesquels : les altitudes caractéristiques, la courbe hypsométrique et les pentes.

- **Les altitudes caractéristiques** : elles nous permettent de calculer la pente moyenne du bassin versant. L'altitude maximale (H_{max}) représente le point le plus élevé, tandis que l'altitude minimale (H_{min}) représente le point le plus bas, généralement l'exutoire. Ainsi, pour le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud,

$$H_{max} = 415 \text{ m} ; H_{min} = 355\text{m} \text{ et } H_{moy} = 389 \text{ m}$$

- **La courbe hypsométrique** : elle nous donne l'allure générale de la pente du bassin versant. Elle répartit la surface du bassin en classes d'altitude et dégage les proportions de chacune de ces classes. A partir de cette courbe, nous obtenons une altitude médiane, $H_{50\%} = 388 \text{ m}$
- **L'indice de pente global (I_g)** : Il est défini comme le rapport de la dénivelée (D) sur la longueur du rectangle équivalent (L_e).

$$I_g = D/L_e = (H_{5\%} - H_{95\%})/L_e$$

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin versant. Cet indice nous permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'ORSTOM. Pour le bassin versant étudié,

$$I_g = (0,409 \text{ km} - 0,364 \text{ km})/6,047 \text{ km} = \mathbf{0,007 \text{ km/km}}$$

Cette valeur d'indice de pente global ($0,005 < I_g < 0,01$) est caractéristique d'un **relief assez faible**.

- **La dénivelée spécifique (D_s)** : elle permet de confirmer la classe de relief et de comparer le relief des bassins versants de tailles différentes en se référant à la classification de l'ORSTOM. Son expression est la suivante :

$$D_s = I_g S^{1/2} = 7,44 \text{ m/km} * (18,32 \text{ km}^2)^{0,5} = \mathbf{31,85 \text{ m}}$$

Cette valeur de dénivelée spécifique ($25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$), nous indique que nous sommes dans la classe R3, donc sur un **relief assez faible**.

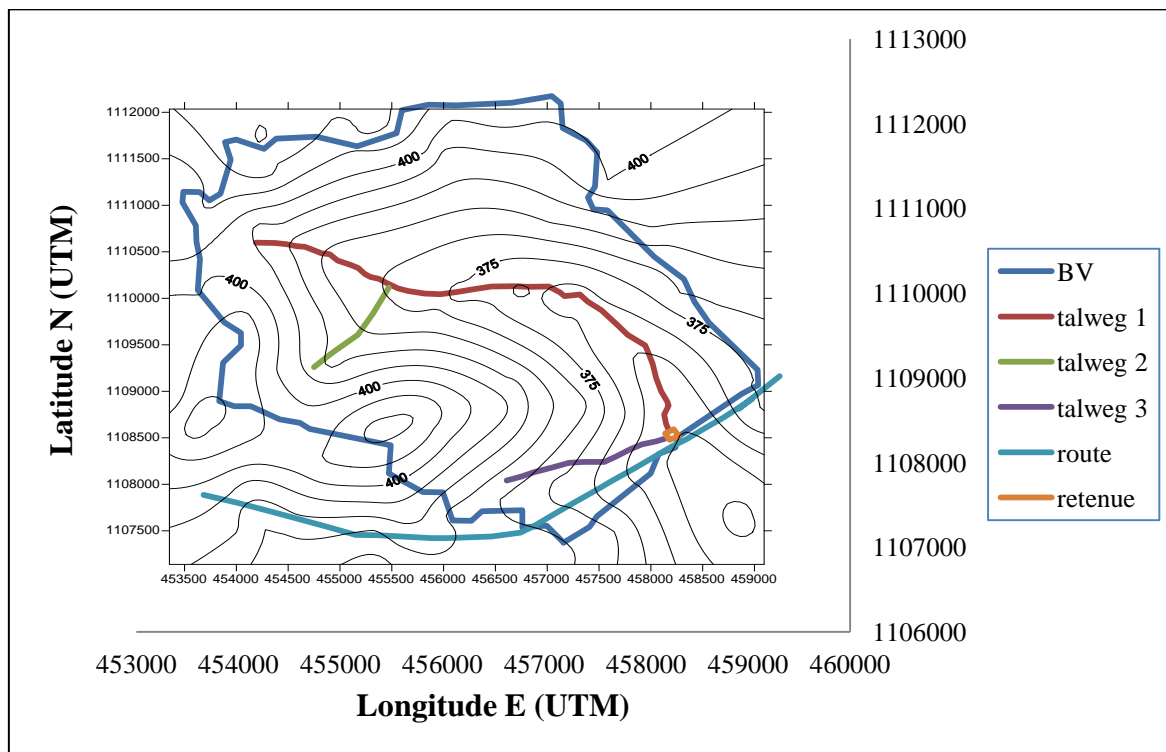


Figure 23 : tracé des courbes de niveau (*Surfer.8*) du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

Tableau 45 : répartition altimétrique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

| Altitudes(m) | Surface (km ²) | Pourcentage | Pourcentage cumulé |
|--------------|----------------------------|-------------|--------------------|
| 415 | 0 | 0 | 0 |
| 410 | 0,45 | 2,45 | 2,45 |
| 400 | 3,36 | 18,36 | 20,81 |
| 390 | 4,21 | 23,00 | 43,81 |
| 380 | 4,08 | 22,30 | 66,11 |
| 370 | 3,92 | 21,43 | 87,54 |
| 360 | 2,16 | 11,81 | 99,34 |
| 355 | 0,12 | 0,66 | 100 |
| TOTAL | 18,30 | 100 | - |

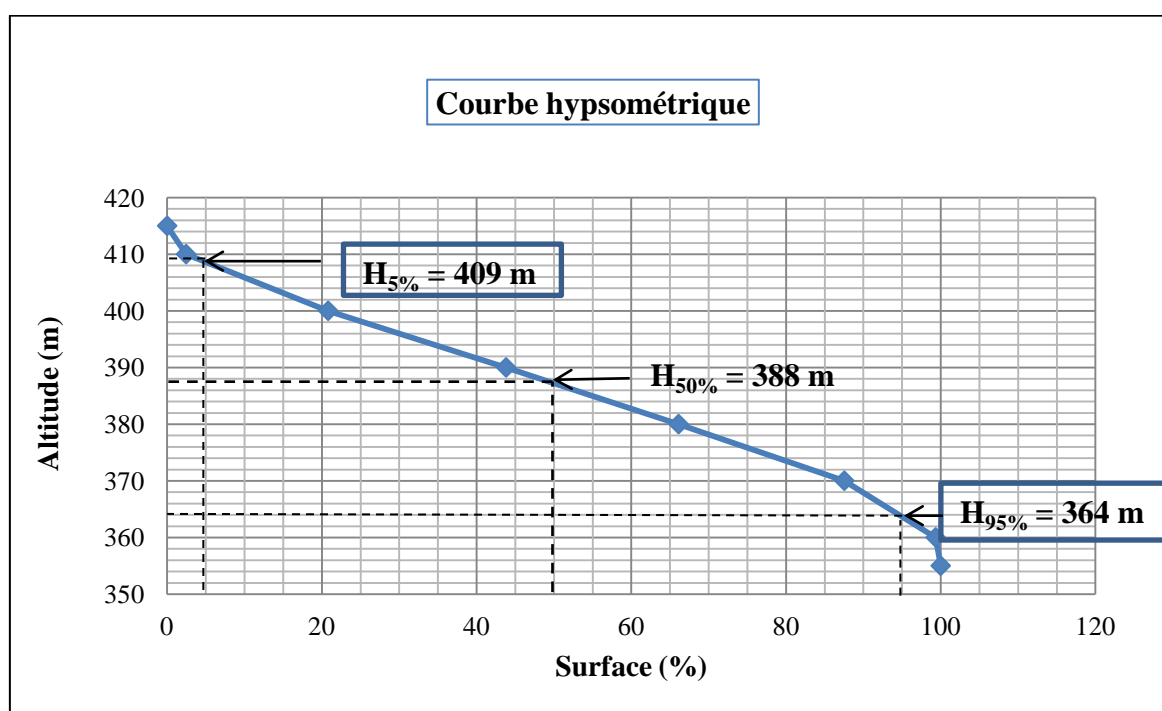


Figure 24 : courbe hypsométrique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

c) Hydrographie

Le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud est constitué de petits cours d'eau à écoulement temporaire.

➤ Densité de drainage

L'ensemble du bassin versant est drainé par des ruisseaux dont la longueur totale des talwegs (ΣL) représente 9,29 km, répartis comme suit :

- Longueur du talweg principal (L_p) ou talweg 1 = **5,6 km**
- Longueur du talweg 2 (L_2) = 1,85 km
- Longueur du talweg 3 (L_3) = 1,3 km

La densité de drainage (**Dd**) se définit comme étant le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant.

$$(\mathbf{Dd}) = \sum L/S = 9,29 \text{ km}/18,36 \text{ km}^2 = \mathbf{0,677 \text{ km/km}^2}$$

Cette faible densité de drainage indique que nous sommes dans une région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué. Elle est de 3 à 4 km/km² dans les régions où l'écoulement n'atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé. Elle dépasse 1000 km/km² pour certaines régions où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration.

➤ Pente moyenne de la rivière principale

La pente moyenne de la rivière principale (**P_{moy}**) permet de déterminer la vitesse à laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin versant. Son expression est la suivante :

$$(\mathbf{P_{moy}}) = \Delta H/L_e = (393\text{m}-355\text{m})/5,6 \text{ km} = \mathbf{6,786 \text{ m/km}}$$

Cette valeur inférieure à 10 m/km, indique que la rivière principale a une **pente modérée**.

➤ Temps de concentration

Le temps de concentration (**Tc**) est le temps que met la première goutte d'eau tombée au point le plus éloigné de l'exutoire pour atteindre celui-ci. Il est calculé par l'une des formules suivantes :

- Giondotti : $\mathbf{Tc (h) = [(4*S^{0,5} + 1,5 L)/(0,8*H^{0,5})]}$

S : surface en km² ; **L = L_p** = longueur du talweg principal ; **H = H_{moy} - H_{min}**

- Ventura : $\mathbf{Tc (h) = 0,13 * (S/P_{moy})^{0,5}}$

S : surface en km² ; **P_{moy}** : pente moyenne en m/m

- Turazza : $\mathbf{Tc (min) = 0,108 * (S*L)^{1/3} / P_{moy}^{0,5}}$

S : surface en ha ; **L = L_p** : longueur du talweg principal en m ; **P_{moy}** : pente moyenne en m/m

Pour le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud, nous retenons comme temps de concentration (Tc), la moyenne des temps obtenus à partir des formules ci-dessus :

$$\mathbf{Tc = 5,5 \text{ h}}$$

Tableau 46 : Résultats de calcul du temps de concentration suivant les formules utilisées

| Formules Tc (h) | Giondotti 5,41 | Turazza 4,67 | Ventura 6,65 |
|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | |

Tableau 47 : récapitulatif des caractéristiques morphométriques et hydrologiques

| Paramètres | Unités | Symboles | Valeurs |
|----------------------------------|--------------------|------------------|---------|
| Surface | Km ² | S | 18,32 |
| Périmètre | Km | P | 19,3 |
| Altitude minimale | m | H _{min} | 355 |
| Altitude maximale | m | H _{max} | 415 |
| Altitude moyenne | m | H _{moy} | 389 |
| Altitude 5 % | m | H _{5%} | 409 |
| Altitude 50 % | m | H _{50%} | 388 |
| Altitude 95 % | m | H _{95%} | 364 |
| Longueur des talwegs | Km | ΣL | 9,3 |
| Longueur du talweg principal | Km | L _p | 5,6 |
| Longueur du rectangle équivalent | Km | L _e | 6,1 |
| Largeur du rectangle équivalent | Km | l _e | 3,6 |
| Indice de compacité de Gravelius | - | I _{CG} | 1,26 |
| Indice de pente global | Km/Km | I _g | 0,007 |
| Dénivelée spécifique | m | D _s | 31,85 |
| Densité de drainage | Km/Km ² | D _d | 0,677 |
| Temps de concentration | h | T _c | 5,5 |
| Pente moyenne de la rivière | m/Km | P _m | 6,79 |
| Classe de relief | - | Assez faible | - |

d) Climat

Les caractéristiques climatiques du bassin versant étudié ont été déterminées à partir des données de la station climatique de Ina, obtenues auprès de l'ASECNA, et d'un réseau de mesures installé sur le site.

➤ Les précipitations

Les données disponibles de la station de Ina couvrent les années 1960 à 2008 ; seules celles de 40 années étaient complètes et exploitables. Donc les données des années 1983, 1990, 1994, 1995, 1999, 2004, 2005, 2006 et 2007 ont été écartées.

- Statistiques de base

L'analyse des précipitations annuelles dans le bassin versant étudié donne les paramètres généraux (et leur dispersion autour de la valeur centrale) suivants :

P_{min} : 846,7 mm/an ; **P_{max}** : 1585,7 mm/an ; **Médiane** : 1125,5 mm/an

P_{moy} : 1170,3 mm/an ; Ecart-type (**δ**) : 195,1 mm ; coefficient de variation (**Cv**) : 0,167

L'**indice pluviométrique** de Lamb (1982) nous permet de classer les années en années excédentaires (**I_i** : positif) ou en années déficitaires (**I_i** : négatif), sur la période d'observation choisie. Son expression est la suivante :

$$I_i = (X_i - X) / \sigma$$

X_i : la pluviométrie de l'année i (mm) ; **X** : la pluviométrie moyenne annuelle sur la période de référence (mm) et **σ** : l'écart type de cette moyenne annuelle (mm).

Nous pouvons donc noter une grande période de sécheresse partant des années 1970 aux années 2000, avec de petits sursauts d'humidité. Cela vient confirmer l'effectivité de la vague de sécheresse qu'a connue toute la zone sahélienne.

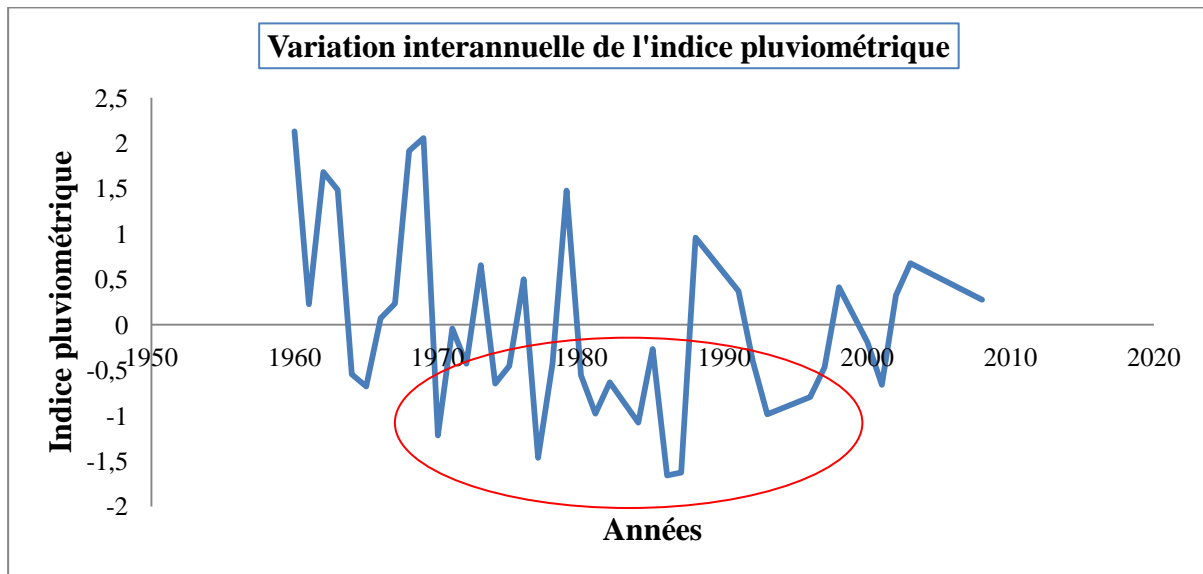


Figure 25 : variation interannuelle de l'indice pluviométrique à Ina

- **Précipitations et humidité relative moyennes mensuelles**

L'humidité relative et la pluviométrie sont plus élevées de Juillet à Septembre, pendant la pleine saison pluvieuse. Le début de cette saison est marqué par d'assez fortes tornades. Les précipitations croissent jusqu'en septembre et s'achèvent très brutalement en Octobre. Il s'en suit 4 mois (de Novembre à Février), où on n'observe presque pas de pluies ; l'humidité relative est au plus bas : c'est la saison sèche. Elle est très accentuée et s'étale sur un total de 7 mois. L'humidité relative moyenne a été calculée pour la période 1950-1990.

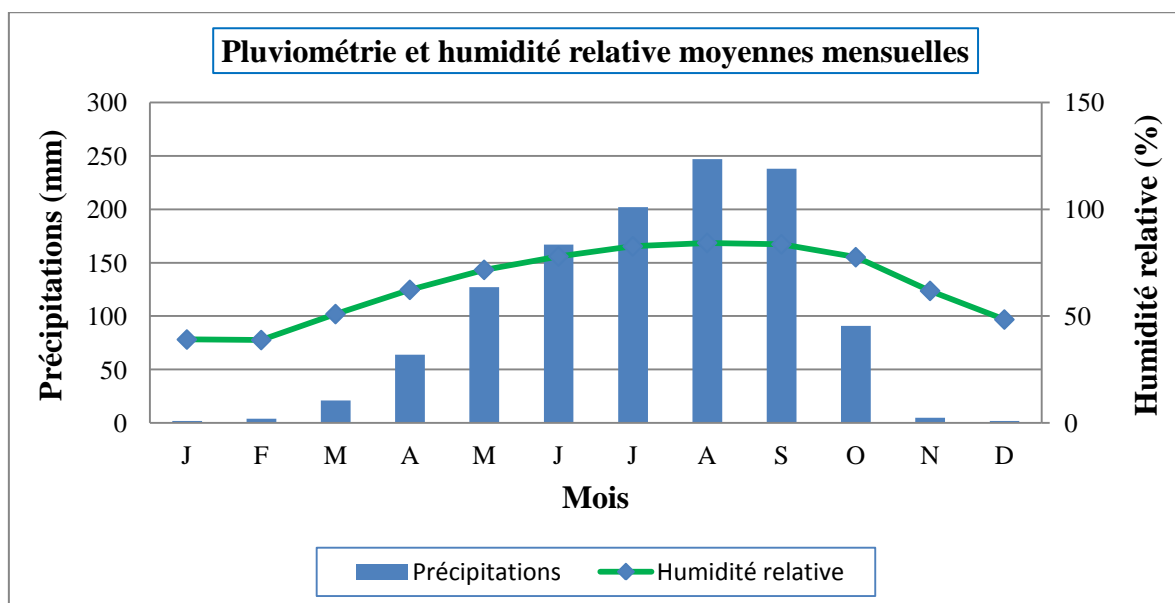


Figure 26 : pluviométrie et humidité relative moyennes mensuelles à Ina

Tableau 48 : pluviométrie et humidité moyennes mensuelles à Ina

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| P_{mov}(mm) | 2 | 4 | 21 | 64 | 127 | 167 | 202 | 247 | 238 | 91 | 5 | 2 |
| H _{7h} (%) | 59 | 61 | 75 | 84 | 89 | 92 | 94 | 95 | 95 | 94 | 88 | 72 |
| H _{12h} (%) | 27 | 27 | 38 | 50 | 61 | 69 | 75 | 77 | 74 | 64 | 41 | 32 |
| H _{18h} (%) | 31 | 28 | 39 | 53 | 65 | 72 | 78 | 81 | 81 | 75 | 57 | 41 |
| H_{mov} (%) | 39 | 39 | 51 | 62 | 72 | 78 | 83 | 84 | 84 | 78 | 62 | 48 |

- **Etude des crues**

- Pluies journalières maximales

Leur étude est nécessaire pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Le maximum pluviométrique journalier enregistré sur chaque année a été isolé pour l'ensemble de la période étudiée et tous les maxima ont été classés. La fréquence expérimentale de non-dépassement (probabilité pour qu'un évènement pluvieux de hauteur i ne soit pas atteint ou dépassé) a été déterminée par la formule empirique de Weibull suivante :

$$F(x_i) = P(i \leq x_i) = i/(N+1)$$

i : rang occupé par l'évènement pluvieux (x_i) ; N : nombre d'observations = 40

Ainsi ; la valeur $1-F(x_i)$ est appelée probabilité de dépassement ou fréquence d'apparition. Le temps de retour d'un tel évènement est alors défini comme étant l'inverse de sa fréquence d'apparition.

$$T = 1/[1-F(x_i)]$$

Tableau 49 : résultats fréquentiels des pluies maximales journalières

| | | | | | |
|--------------------------|------|------|-------|-----|-----|
| Fréquence (%) | 50 | 20 | 10 | 2 | 1 |
| Période de retour (ans) | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
| P _{jmax} (mm/j) | 72,4 | 93,9 | 102,5 | 110 | 111 |

- Pluies de courte durée

Elles correspondent aux pluies estimées tombées pendant le temps de concentration (P_{tc}), et peuvent s'obtenir par la formule suivante :

$$P_{tc} = P_{jmax} * (Tc/24)^{1-b}$$

Tc : temps de concentration (h)

(1-b) : exposant climatique, où b : coefficient de Montana moyen = 0,493

Tableau 50 : résultats fréquentiels des pluies de courte durée

| | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| Fréquence (%) | 50 | 20 | 10 | 2 | 1 |
| Période de retour (ans) | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
| P _{tc} (mm) | 34,3 | 44,5 | 48,6 | 52,1 | 52,6 |

- Débits maximaux journaliers

Les débits maximaux journaliers (Q_{jmax}) peuvent être obtenus par l'application des formules empiriques :

Formule de Turazza :

$$Q_{jmax} = Cr * P_{tc} * S / Tc * 3,6$$

Formule de Sokolovsky :

$$Q_{jmax} = 0,28 * P_{tc} * Cr * S * f / Tc$$

Cr : coefficient de ruissellement pendant la période de crue

Tc : temps de concentration du bassin versant (h)

S : surface du bassin versant (km²)

P_{tc} en mm et Q_{jmax} en m³/s

f : coefficient de forme de l'hydrogramme. Si f = 1, alors les deux formules se valent ; ce que nous allons considérer dans notre cas.

Le coefficient de ruissellement pendant la période de crue (Cr) peut être obtenu par la formule :

$$Cr = 0,8 * [1 - (P_o / P_{jmax})]$$

L'estimation de la rétention initiale (P_o) peut se faire à partir de la couverture végétale de la zone, de la pente, et de la nature du sol. Ainsi,

$$P_o = \sum P_{oi} * A_i$$

P_{oi} : rétention initiale de la couverture végétale i ;

A_i : pourcentage de la surface de couverture végétale i.

Tableau 51 : estimation de la rétention initiale (P_o). (Source : SOGREAH PRAUD, 1996)

| Couverture végétale | Morphologie | Pente (%) | Terrain sable grossier | Terrain limoneux | <u>Terrain argileux ou rocailleux compact</u> |
|--------------------------------|--------------|---------------------|------------------------|------------------|---|
| <u>Bois</u> Garrigue | presque plat | <u>0 - 5</u> | 90 | 65 | <u>50</u> |
| | ondulé | 5 - 10 | 75 | 55 | 35 |
| | montagneux | 10 - 30 | 60 | 45 | 25 |
| Pâturages | presque plat | 0 - 5 | 85 | 60 | 50 |
| | ondulé | 5 - 10 | 80 | 50 | 30 |
| | montagneux | 10 - 30 | 70 | 40 | 25 |
| <u>Cultures</u> | presque plat | <u>0 - 5</u> | 65 | 35 | <u>25</u> |
| | ondulé | 5 - 10 | 50 | 25 | 10 |
| | montagneux | 10 - 30 | 35 | 10 | 0 |

Ainsi pour le bassin versant étudié (65 % de bois, 34 % de cultures et 1% de zones imperméabilisées) ;

$$P_o = P_{oBois} * A_{Bois} + P_{oCultures} * A_{Cultures} = 50 \text{ mm} * 0,65 + 25 \text{ mm} * 0,34 = 41 \text{ mm}$$

Tableau 52 : résultats du calcul des débits maximaux journaliers

| Période de retour (ans) | P_{jmax} (mm) | Cr | Q_{jmax} (m ³ /s) |
|-------------------------|-----------------|-------|--------------------------------|
| 2 | 72,2 | 0,347 | 11,01 |
| 5 | 93,9 | 0,451 | 11,61 |
| 10 | 102,5 | 0,480 | 14,62 |
| 50 | 110 | 0,502 | 17,25 |
| 100 | 111 | 0,504 | 17,60 |

➤ Les températures et l'insolation

La température moyenne (T_{moy}) s'élève à 26°C. Les mois les plus chauds, avec une température moyenne de 29 °C, sont ceux de Mars, Avril et Mai ; on y enregistre souvent la température maximale ($T_{max} = 38°C$). Avec l'arrivée des précipitations en Mai, la température baisse ; elle remonte dès le mois de novembre pour s'abaisser de nouveau, sous l'effet des vents d'Harmattan, de Décembre à Janvier. C'est pendant ces mois qu'on enregistre la température minimale ($T_{min} = 13°C$). Les mois les plus ensoleillés sont aussi les mois secs et chauds où le ciel n'est pas couvert de nuages chargés de précipitations.

Tableau 53 : températures et insolation moyennes mensuelles à Ina pour la période 1950-1990

| mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $T_{moy}(°C)$ | 25 | 27 | 29 | 29 | 28 | 27 | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 24 |
| Ins. (h) | 240 | 231 | 231 | 234 | 226 | 187 | 148 | 135 | 155 | 215 | 245 | 237 |

➤ L'évaporation

Une idée sur le pouvoir évaporateur de l'atmosphère à Ina, mesuré à l'aide d'un évaporimètre de Piche de 1950 à 1962, nous est donnée dans les travaux de Sircoulon en 1964 ; lesquels révélaient des évaporations maximales de Décembre à Mars et des évaporations minimales de Juillet à Septembre, pour un total moyen de 1152 mm/an sur la période de 1950 à 1962.

Les précisions relatives à l'évaporation sur une grande retenue d'eau sont apportées par l'ORSTOM qui installe un bac Colorado en 1961 auquel est adjoint un second bac, de type ORSTOM, recouvert d'huile pour faciliter les corrections les jours de pluies. Durant la période 1961-1963, l'évaporation moyenne est maximale en Mars (6,9 mm/j) et l'évaporation moyenne est minimale en Août (3,2 mm/j) ; pour une évaporation sur une retenue d'eau d'une certaine étendue estimée à 1700 mm/an (1860 mm/an*0,90).

Les dernières valeurs ne sont corrélées aux premières qu'à 65 % ($E_{Colorado}/E_{Piche} : R^2 = 0,65$) ; les dissemblances étant plus marquées pendant la saison pluvieuse, justifiant ainsi l'installation de ces deux derniers bacs. Nous retenons donc, pour la suite des travaux, les valeurs obtenues à l'aide du bac Colorado, comme celles de l'évaporation d'un plan d'eau.

Tableau 54 : évaporation moyenne mensuelle sur évaporimètre de Piche et évaporation moyenne journalière sur Bac Colorado à Ina [sources : (*) Sircoulon, 1964 ; (**) ORSTOM, 1992]

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E_{Piche} (mm/mois)* | 173 | 166 | 153 | 116 | 77 | 53 | 40 | 37 | 37 | 56 | 97 | 147 |
| $E_{\text{Col.}}$ (mm/j)** | 5,4 | 6,6 | 6,9 | 6,4 | 5,5 | 4,5 | 4,1 | 3,2 | 3,6 | 4,6 | 5,3 | 5,2 |
| $E_{\text{Col.}}$ (mm/mois)** | 167 | 185 | 214 | 192 | 170 | 135 | 127 | 99 | 108 | 143 | 159 | 161 |

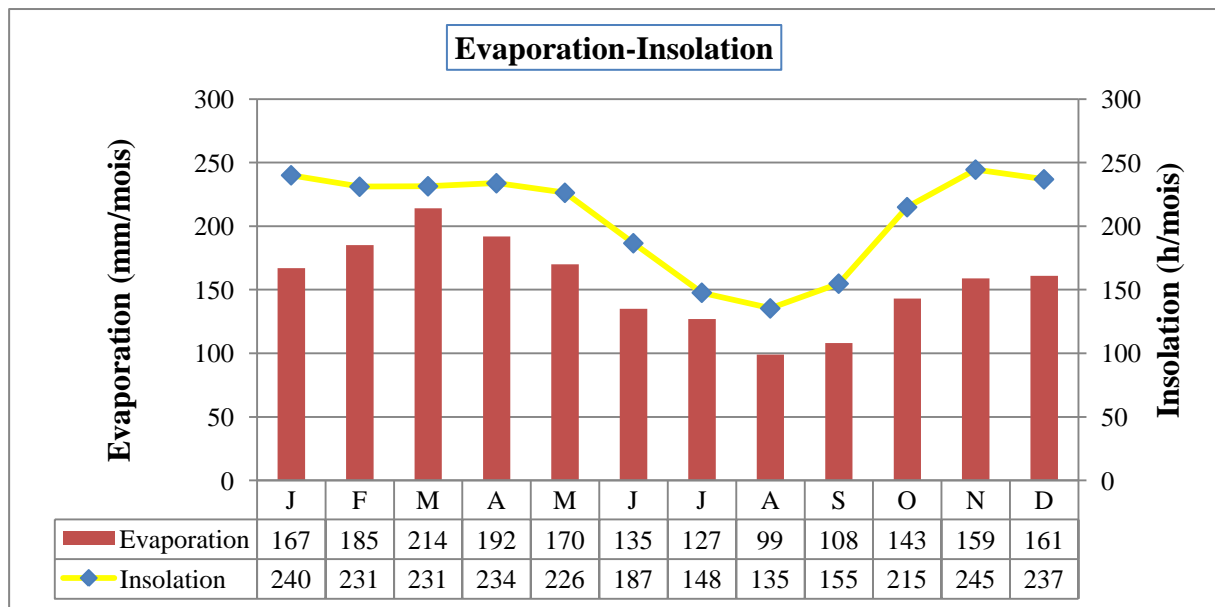


Figure 27 : Evaporation et insolation moyennes mensuelles à Ina

➤ L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Pour le bassin versant étudié, elle a été calculée à partir des formules suivantes :

- **Formule de Thornthwaite : $ETP \text{ (mm/mois)} = 16K (10 t/I)^a$**

K : coefficient de correction mensuel dépendant de la latitude, il est donné par des tables ;

t : température moyenne mensuelle (°C) ;

I : indice thermique annuel : somme des indices thermiques mensuels (i) avec : $i = (t/5)^{1,514}$

$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49 = (0,016 I) + 0,5$

Les résultats obtenus sont : I = 149,61 ; a = 2,89 et **ETP (Thornthwaite) = 1031 mm/an.**

Tableau 55 : résultats mensuels du calcul de l'ETP(Thornthwaite) à Ina

| Paramètres | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| t (°C) | 25 | 27 | 29 | 29 | 28 | 27 | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 24 |
| i | 11 | 13 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 |
| K | 1,00 | 0,91 | 1,03 | 1,03 | 1,08 | 1,06 | 1,08 | 1,07 | 1,02 | 1,02 | 0,98 | 0,99 |
| ETP (mm) | 69 | 83 | 113 | 116 | 107 | 89 | 80 | 76 | 75 | 84 | 74 | 66 |

- **Formule de Turc** : $ETP \text{ (mm/ an)} = P / [(0,9 + (P^2/L^2)]^{0,5}$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm/an) ;

$L = 0,05 T^3 + 25T + 300$; où T est la température moyenne annuelle (°C)

Nous obtenons, **ETP (Turc) = 1032 mm/an.**

Les totaux moyens annuels obtenus par les formules de Thornthwaite et de Turc sont identiques à 1 mm près, mais bien inférieurs à ceux mesurés à l'aide du bac Colorado et de l'évaporimètre de Piche. Cela est dû au fait que, bien que l'évaporation et l'évapotranspiration désignent au départ les pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur, Thornthwaite et Turc estiment ces pertes à l'échelle d'un bassin versant et pour une surface végétale, tandis que les bacs évaporatoires les estiment à l'échelle de la retenue d'eau et pour une surface saturée, plane et horizontale.

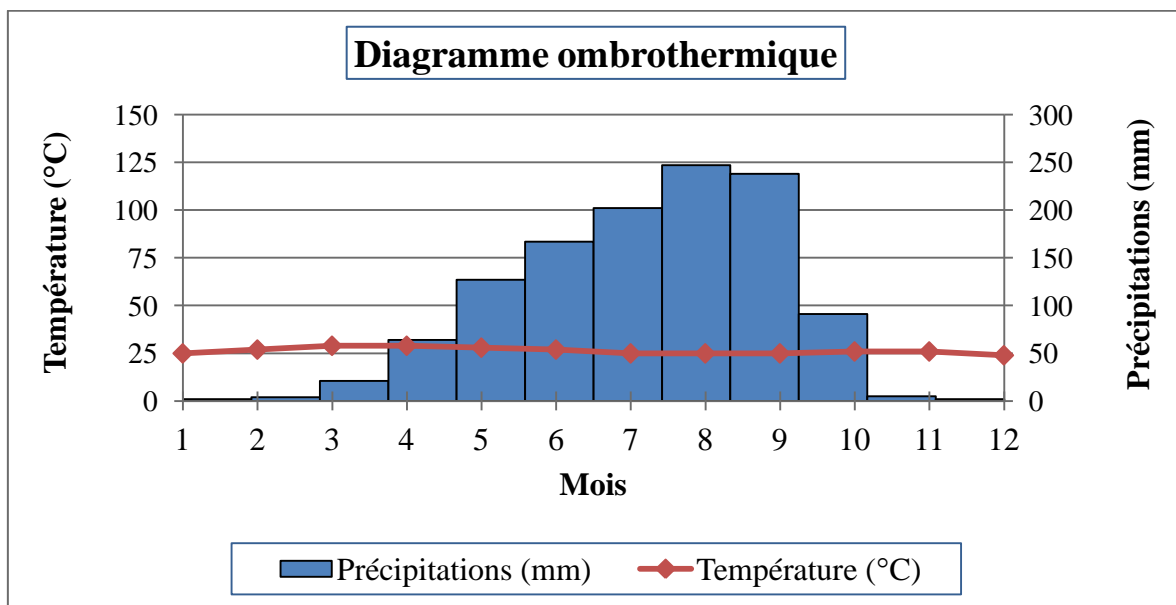


Figure 28 : diagramme ombrothermique à Ina

L'ensemble des caractéristiques du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud semble indiquer que le site offre des conditions favorables à un bon écoulement. Avant d'essayer de chiffrer cet écoulement, arrêtons-nous d'abord sur les caractéristiques d'un élément du bassin versant susceptible de nous aider à cette tâche : la cuvette de la retenue.

5.2.2. Présentation de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

a) Description du site de la retenue

La retenue de Guessou-Sud est une incurvation naturelle recueillant de l'eau et la conservant pendant un certain temps. C'est un ouvrage d'environ 1 ha, alimenté par deux canaux principaux d'amenée d'eau et disposant d'une zone inondable considérable. Il est situé au cœur d'une zone constituée de savane boisée claire, de cultures d'igname et de maïs, et de petits jardins. Cependant, ses berges et ses alentours directs sont mis à nu par les animaux qui

viennent de toutes parts s'y abreuver pendant la saison sèche. Ces animaux y ont accès par des pistes ou couloirs de transhumance parfaitement maîtrisés par leurs bergers.

Sa cuvette repose sur un sol argileux (kaolinique) à hydromorphie temporaire : un pseudo-gley. Dans toute la zone de localisation de la cuvette, les femmes exploitent l'argile pour la fabrication de poteries et jarres destinées à la conservation de l'eau de boisson. Nous pouvons donc soutenir, à priori, que la cuvette de la retenue bénéficie d'une sorte d'étanchéité naturelle ; cependant, l'épaisseur de cette couche d'argile n'est pas connue actuellement.



Figure 29 : image Google earth du 12/02/2011 de la retenue de Guessou-Sud



Figure 30 : sol hydromorphe à pseudo-gley de la cuvette en saison pluvieuse (a) et en saison sèche (b) (source : Ngahane, 2012)

b) Typologie de retenue d'eau

La retenue de Guessou-Sud peut être identifiée à une retenue collinaire de par son contexte géomorphologique et son mode d'alimentation. En effet, cette retenue est située en fond de vallée dans un talweg ; elle est exclusivement alimentée par les eaux de ruissellement et/ou de sources. Cependant, cet ouvrage ne disposant pas de digues actuellement, comprend une zone toujours en eau ; laquelle a été creusée pour augmenter sa capacité de stockage. En ce sens, le terme « *mare permanente* », qualifierait plus précisément cet ouvrage à l'heure actuelle. Situé en tête de bassin, sa longueur est de 100 m et sa largeur est de 90 m, pour une capacité de quelques milliers de m³. Cet ouvrage au fil de l'eau intercepte et stocke l'eau de pluie pour les usages ultérieurs. L'eau ainsi stockée pendant la saison pluvieuse n'est pas déversée dans une rivière ou un cours d'eau quelconques, mais elle est directement prélevée de l'ouvrage pendant la saison sèche. Son fonctionnement a donc un régime interannuel.



Figure 31 : image de la sortie de la cuvette (source : Ngahane, 2012)

c) Topographie et hydrométrie de la cuvette de la retenue

Elles nous permettent de mieux caractériser les dimensions de la retenue, tout en permettant d'apprécier spécifiquement sa capacité de stockage et son allure longitudinale.

➤ Levé topographique

Deux levés topographiques ont été effectués par nos soins avec l'aide d'un topographe/géomètre local travaillant dans le recensement et l'inventaire des surfaces affectées à la culture du coton ; le levé de la cuvette en saison sèche (mars 2012) et le levé de la zone inondable en saison pluvieuse (août 2012). Au total, 6,25 ha (250m*250m) ont été levés avec un maillage de 10 m*10m, à l'aide d'un GPS, d'un télémètre, de décimètres, de piquets, etc.

Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel *Surfer.8*. Il permet, à partir des coordonnées (x,y,z) de tous les nœuds dans le maillage, la représentation du site en 3D, des courbes de niveau, des directions des flux d'eau ; la détermination des côtes maximales et minimales et le calcul des volumes et des surfaces noyées et dénoyées en fonction des côtes d'eau. La détermination de la côte du plan d'eau en temps réels est possible grâce à un point repère dont les coordonnées géographiques (UTM) sont **X : 458150 ; Y : 1108100 ; Z : 356 m** et les coordonnées dans le maillage sont **x : 0 m ; y : 0 m ; z : 3,34 m**.

➤ Caractéristiques hydrométriques de la cuvette

Les caractéristiques hydrométriques générales sont définies par la surface (S), le volume (V) et la côte maximale (z).

- Côte maximale de la cuvette : 3,25 m
- Volume total de la cuvette : 12 965 m³
- Surface totale de la cuvette : 8 819 m²

Ces caractéristiques en un moment donné sont déterminées par la valeur de ces paramètres, comme l'indique le tableau suivant.

Tableau 56 : valeurs des paramètres caractéristiques de la cuvette aux dates des levés

| DATE | Côte du plan d'eau (cm) | Surface du plan d'eau (m ²) | Volume d'eau (m ³) |
|------------|-------------------------|---|--------------------------------|
| 21/03/2012 | 255 | 6118 | 7822 |
| 20/08/2012 | 365 | 18337 | 18101 |

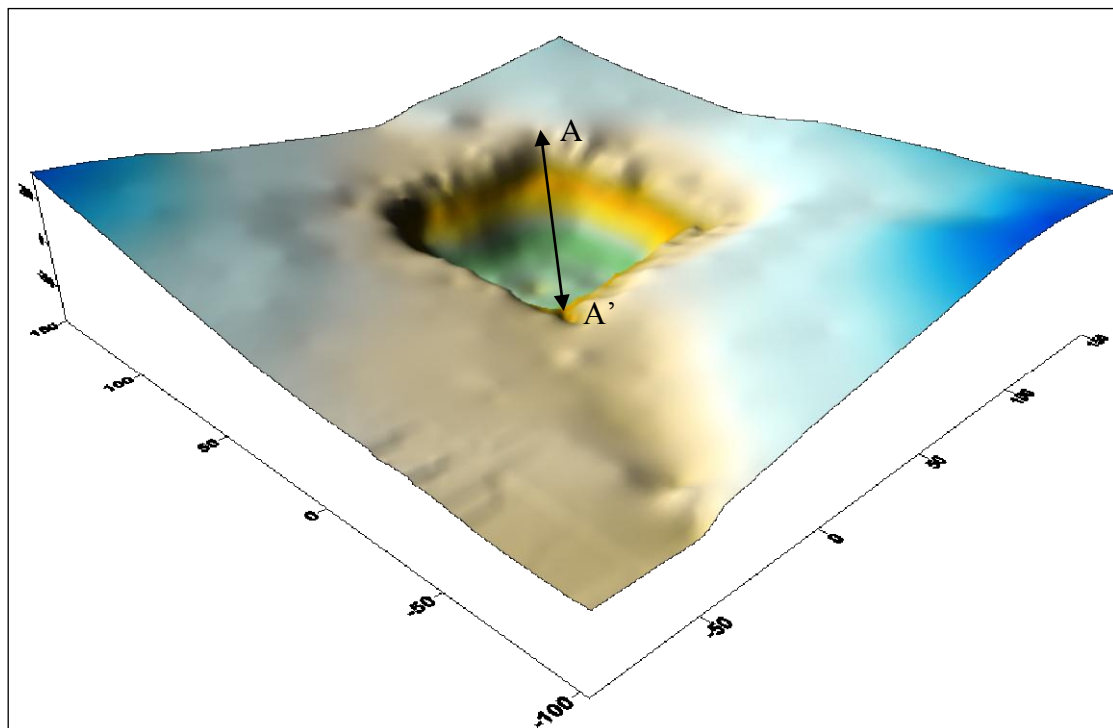


Figure 32 : image en 3D de la cuvette et de sa zone inondable

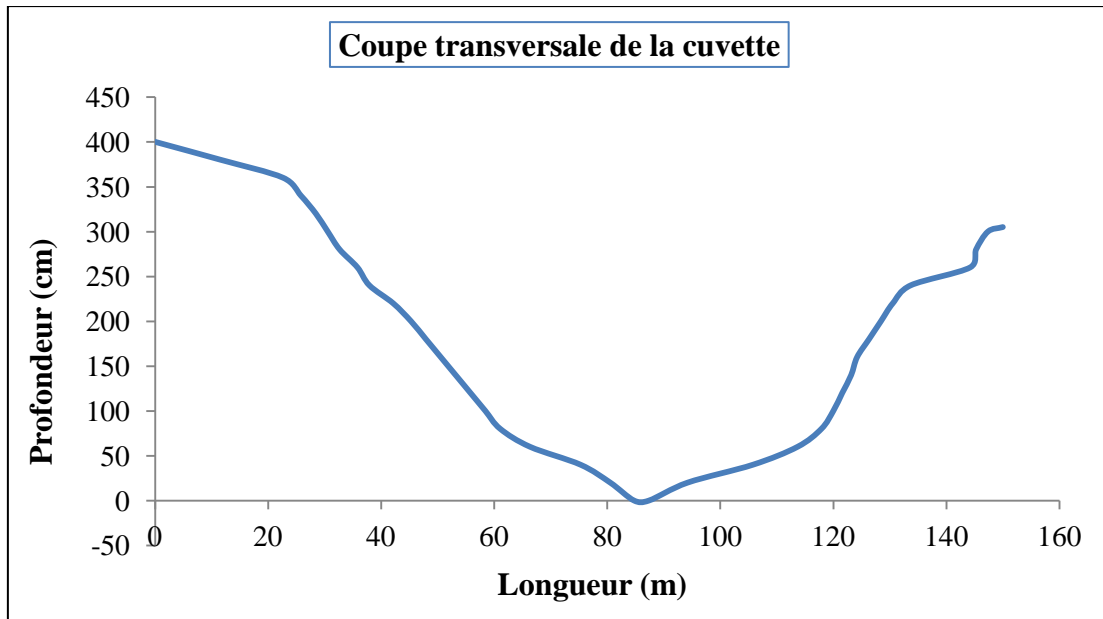


Figure 33 : coupe transversale de la cuvette selon l'axe (AA') de la figure 34

L'aboutissement ultime des levés topographiques réalisés est l'établissement des courbes hauteur-volume-surface de la cuvette de la retenue, qui permettent à partir de la hauteur d'eau dans la cuvette, de déterminer le volume et la surface qu'occupe l'eau. Nous remarquons qu'au-delà de 325 cm de hauteur d'eau, les pentes de ces courbes s'accroissent brusquement ; les eaux s'étalent du fait de la planéité de la zone inondable par rapport à la cuvette de la retenue.

$$V = 0,484H^2 - 130,99H + 7073,8$$

$$S = 0,2623 H^2 - 49,689H + 2948,6$$

$$r^2 = 0,977$$

$$r^2 = 0,979$$

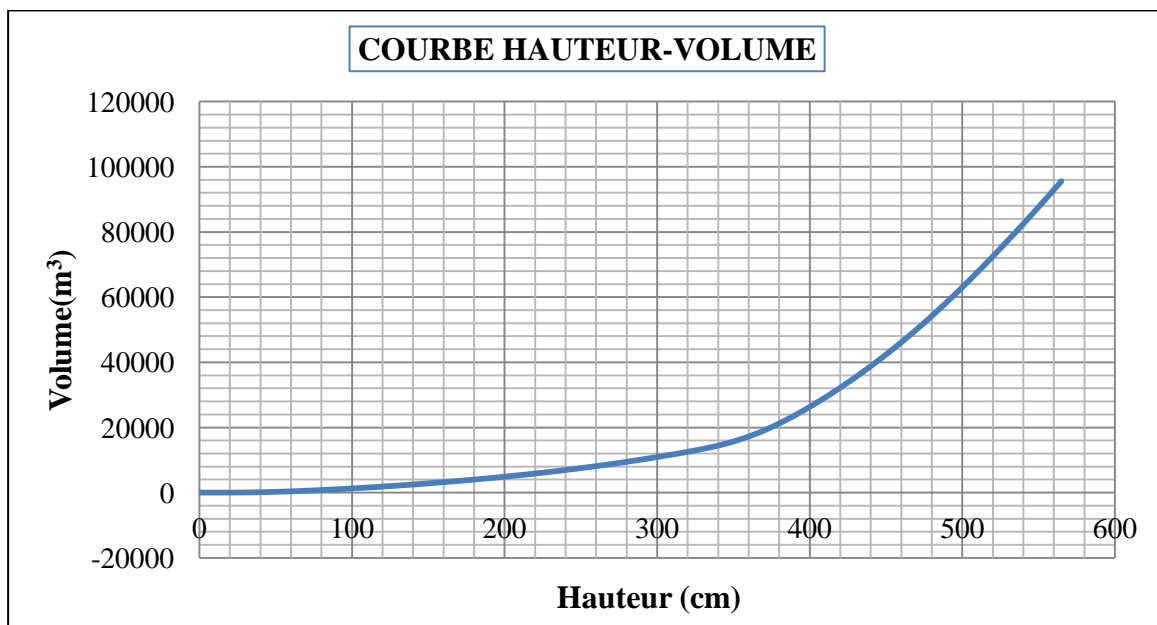


Figure 34 : courbe hauteur-volume de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

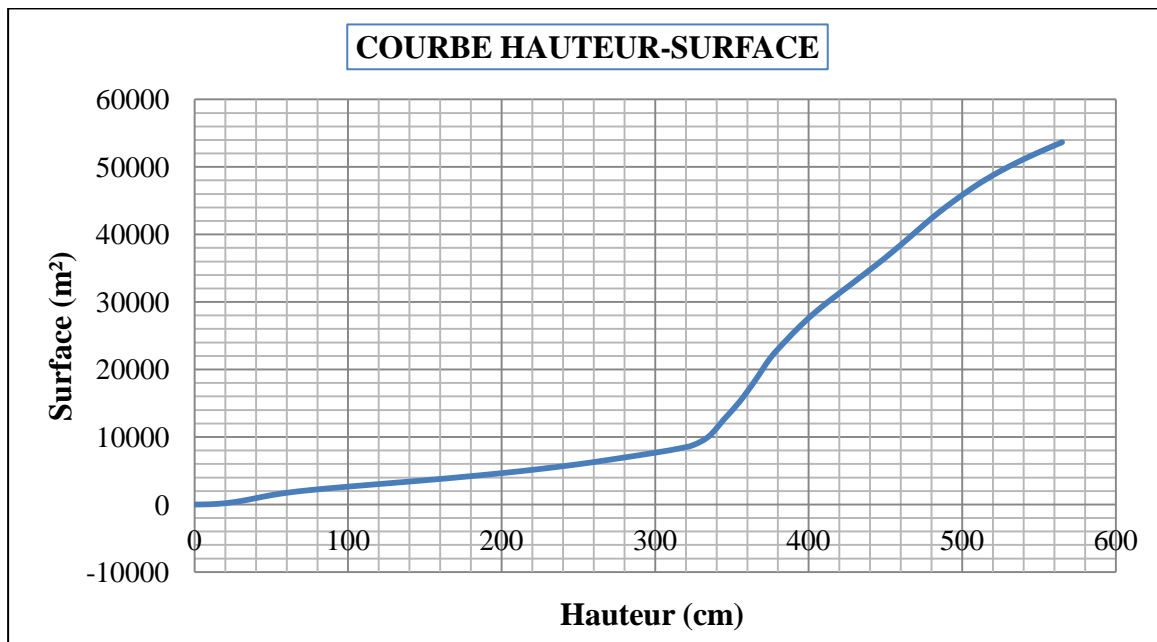


Figure 35 : courbe hauteur-surface de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

La cuvette de la retenue de Guessou-sud se voit traversée par toutes les eaux de ruissellement qui proviennent de la partie amont du bassin versant dont elle est l'exutoire. C'est un bassin creux à fond hétérogène. Ses caractéristiques font d'elle un site propice pour la mobilisation des eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse.

5.3. ETABLISSEMENT DU BILAN HYDRIQUE DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

5.3.1. Etablissement du bilan d'eau du bassin versant

a) Principe du bilan d'eau au sein d'un bassin versant

Le bilan d'eau cherche à établir une balance entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps déterminée selon cette équation de continuité :

$$\Sigma \text{entrées} - \Sigma \text{sorties} = \Delta R$$

ΔR est la variation des réserves en eau du sol (R_u) et du sous-sol (R_s).

R_u est encore la réserve utile du sol ; elle participe à l'évapotranspiration réelle.

R_s est encore appelée réserve souterraine ; elle est à l'origine de l'écoulement souterrain et/ou participe également à la recharge de la nappe.

Cette équation est généralement traduite par la formule suivante :

$$P = Q + ETR + \Delta R$$

Elle stipule que tout ce qui tombe (P) dans un espace hydrologique pendant une durée donnée soit s'écoule (Q), soit repart dans l'atmosphère (ETR), soit participe à la recharge des réserves en eau du sol et du sous-sol (ΔR).

Sachant que le débit observé à l'exutoire est constitué de :

- un écoulement rapide de surface ou ruissellement (R ou E_r) : c'est la tranche d'eau qui s'écoule plus ou moins librement à la surface du sol ;
- un écoulement retardé ou écoulement hypodermique (E_h) : c'est la contribution des horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau ;
- un écoulement souterrain lent (E_s) : c'est la contribution des nappes souterraines à l'écoulement.

$$Q = R + E_h + E_s$$

Donc, divers compartiments sont alimentés par des processus hydrologiques et interviennent dans la répartition et les transferts d'eau dans le bassin.

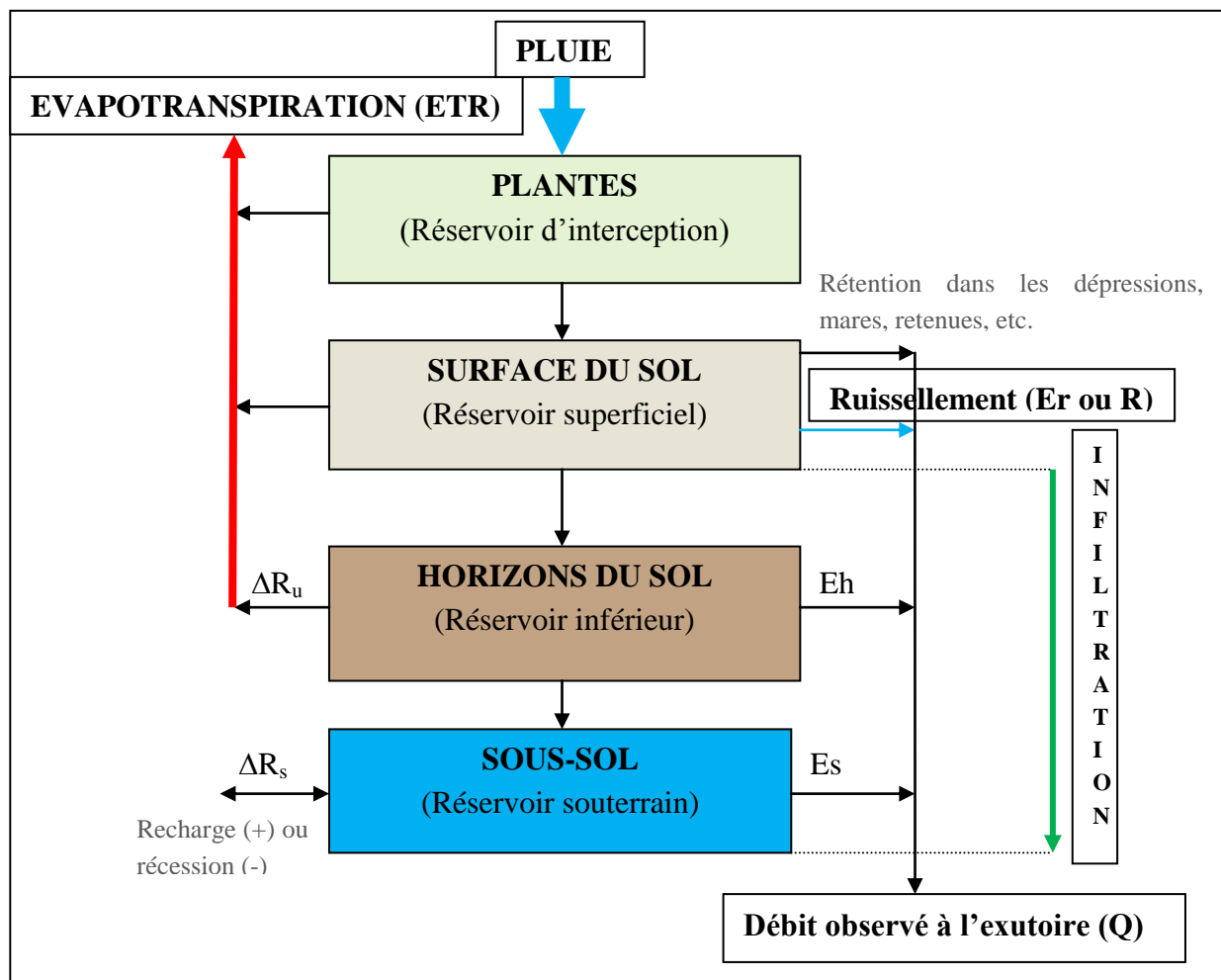


Figure 36 : schéma des compartiments et des principaux processus hydrologiques (tiré et adapté de Wellens *et al.*, 2010)

A partir de ce schéma, et si on néglige la variation des quantités d'eau stockées dans les dépressions, mares et retenues, la pluie tombant dans un bassin versant en un moment déterminé peut s'exprimer comme suit :

$$P = ETR + I + R$$

Elle stipule que tout ce qui tombe soit s'infiltrer, soit ruisselle, soit retourne dans l'atmosphère. Les processus principaux sont donc, les précipitations (P), l'infiltration (I), le ruissellement (R) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

b) Estimation des principaux termes du bilan d'eau

➤ Précipitations

L'année choisie pour l'établissement du bilan d'eau est l'année hydrologique moyenne de la période dont on dispose les données pluviométriques. Ainsi la pluviométrie moyenne se situe à 1170 mm/an. Il convient de noter que l'année hydrologique va de Mai à Avril.

➤ Evapotranspiration réelle

La mesure et le suivi de l'évapotranspiration réelle ne sont pas réalisés dans le bassin versant étudié ; pourtant, ce terme est, dans les pays chauds, le plus important après les précipitations. Cependant, l'ETR peut être estimée par la méthode de Thornthwaite quand on dispose de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et des précipitations mensuelles.

Les cas suivants pourraient se présenter lors du calcul de l'ETR mensuelle :

- **ETP < P** \implies **ETR = ETP**. La quantité P – ETP est emmagasinée jusqu'à la saturation du sol ($R_u = 100$ mm) ; le surplus (Exc) est disponible pour le ruissellement et l'infiltration.
- **ETP = P** \implies **ETR = ETP = P**. Rien n'est disponible pour le ruissellement et l'infiltration ($P - ETP = 0$) ; et rien n'est puisé dans la réserve utile du sol ($\Delta R_u = 0$) pour satisfaire l'évapotranspiration.
- **ETP > P** \implies **ETR = P + tout ou une partie de la réserve en eau du sol, jusqu'à épuisement**. Quand les réserves du sols sont épuisées et que $ETP > ETR$; la valeur ($ETP - ETR$) constitue le déficit hydrique (Déf).

La somme des ETR mensuelles, nous donne l'ETR annuelle. Pour l'année hydrologique moyenne sur le bassin versant étudié, **ETR = 709 mm**.

Tableau 57 : résultats du calcul des ETR (mm/mois) dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud (rouge = valeurs négatives, vert = valeurs positives)

| | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | Total |
|--------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| P_{moy} | 127 | 167 | 202 | 247 | 238 | 91 | 5 | 2 | 2 | 4 | 21 | 64 | 1170 |
| ETP | 107 | 89 | 80 | 76 | 75 | 84 | 74 | 66 | 69 | 83 | 113 | 116 | 1032 |
| ΔR_u | +20 | +78 | +2 | 0 | 0 | 0 | -69 | -31 | - | - | - | - | / |
| R_u | 20 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | / |
| Def | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 67 | 79 | 92 | 52 | 323 |
| Exc | 0 | 0 | 120 | 171 | 163 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 461 |
| ETR | 107 | 89 | 80 | 76 | 75 | 84 | 74 | 33 | 2 | 4 | 21 | 64 | 709 |

Le déficit hydrique annuel (**Def = 323 mm**) traduit la part de l'évapotranspiration potentielle qui n'a pas pu être satisfaite dans le bassin versant après l'épuisement complet de la réserve utile du sol. Le bilan annuel sur cette réserve de subsurface est donc nul ($\Delta R_u = 0$).

L'excédent annuel (**Exc = 461 mm**) représente la part des précipitations disponible pour l'infiltration et le ruissellement. Il constitue l'essentiel de l'écoulement total annuel, au cas où il y a récession de la nappe profonde ($Q = Exc + \Delta R_s$). Il pourrait constituer l'entièreté de l'écoulement total annuel observé à l'exutoire, au cas où il y a recharge de la nappe profonde ($Q = Exc - \Delta R_s$) ; et au cas où il n'y a ni récession, ni recharge de la nappe ($Q = Exc$).

D'une part, la thèse de Kamagaté en 2006, réalisée dans un site proche du nôtre et présentant des caractéristiques similaires (N 09°42', E 01°40'), et portant sur le fonctionnement hydrologique et l'origine des écoulements en milieu tropical de socle au Bénin aboutit à des conclusions dont l'une est la suivante : « *le débit des cours d'eau est donc composé d'un flux rapide (ruissellement) et d'un flux retardé de subsurface (nappe perchée saisonnière) sans contribution significative de la nappe des altérites* ». D'autre part, la recharge moyenne annuelle des aquifères discontinus des zones du socle béninois a été estimée à 123 m³/ha. [93]

Donc, nous considérons pour le bassin versant étudié, qu'il n'y a pas de récession de la nappe profonde ; mais plutôt une recharge moyenne annuelle.

$$\Delta R_s = 12 \text{ mm}$$

L'écoulement total moyen annuel au sein du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud serait :

$$Q = Exc - \Delta R_s = 461 \text{ mm} - 12 \text{ mm} = 449 \text{ mm}$$

Ce chiffre exprime la part de la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant qui parviendrait à la cuvette de la retenue de Guessou-Sud.

➤ Ruissellement

La quantité d'eau de pluie qui ruisselle dans un bassin versant est fonction des sols (nature, occupation, conditions hydrologiques et hydriques initiales) ; de la topographie (pentes) ; et de l'intensité des précipitations.

La caractéristique topographique spécifique qu'est l'indice de pente global ($I_g = 0,7 \%$) a permis de classer le bassin versant étudié dans la classe des reliefs assez faibles. Pour les pentes comprises entre 0 et 2 %, on considère généralement qu'il n'y a pas de ruissellement de surface au sens strict. Ainsi, la topographie n'est pas le facteur qui explique le mieux la génération ou l'apparition du ruissellement dans notre bassin versant.

Selon l'intensité de la pluie, l'eau peut s'infiltrer dans le sol ou s'accumuler et couler sous forme de ruissellement. Une intensité d'averse supérieure au taux d'infiltration du sol produira une série de phénomènes qui finalement causeront le ruissellement. Sachant que le taux d'infiltration dépend du sol, l'intensité de pluie n'est pas, elle aussi, le facteur qui explique au mieux la genèse du ruissellement.

La nature du sol, son occupation et ses conditions initiales d'humidité seraient donc les facteurs déterminant au mieux le ruissellement. Pour tous ces paramètres, variant en fonction du temps, nous allons considérer la période propice à l'apparition du ruissellement dans le

bassin versant étudié. Cette période est constituée des mois de l'année hydrologique pendant lesquels les excédents seraient non nuls ($Exc \neq 0$) ; donc de Juillet à Octobre. En effet, les travaux de Sircoulon en 1964 révélaient déjà que le premier écoulement sur le bassin versant du Tiapalou (N 09°54', E 02°43') apparaissait en fin juillet et perdurait jusqu'en Décembre. Or dès Novembre, le ruissellement ne peut vraisemblablement pas participer à l'écoulement car les hauteurs moyennes d'eau précipitée semblent minimales pour déclencher un ruissellement ; d'où nous confirmons la période allant de Juillet à Octobre comme propice pour le ruissellement.

- **Nature du sol** : les sols rencontrés dans le bassin versant étudié sont les sols faiblement ferralitiques (50 %), les sols ferrugineux tropicaux lessivés (45 %) et les sols hydromorphes (5 %). Ils influencent le ruissellement par la texture et la structure de leurs horizons superficiels qui déterminent leurs capacités de rétention et leur perméabilité.

Etant donné que nous considérons uniquement la période de Juillet à Octobre ; la capacité de rétention desdits sols est aussi considérée comme atteinte. Seule la perméabilité, donc l'infiltration, peut se superposer au ruissellement. La perméabilité des horizons supérieurs des sols en présence varie de 6 mm/h à 10 mm/h. L'expression du ruissellement ne peut se faire que si l'on dispose des données relatives à la durée des différents épisodes pluvieux dans le bassin, ce qui n'est pas notre cas.

- **Occupation du sol** : paramètre le plus stable sur la période considérée. Il nous permet de calculer le ruissellement moyen annuel par la détermination d'un coefficient de ruissellement moyen. L'expression de ce coefficient est :

$$C_{RM} = \sum A_i * C_{Ri}$$

A_i : pourcentage de la surface du type d'occupation i ; C_{Ri} : coefficient de ruissellement du type d'occupation i .

Puisque le bassin versant est situé en zone rurale, nous considérons que les zones imperméabilisées ne représentent que 1% de la superficie, les zones boisées occupent quant à elles 65 % de la superficie totale et le reste (34 %) est occupé par des cultures (maïs, igname, coton, etc.). Les coefficients de ruissellement retenus sont 0,9 ; 0,1 et 0,2 pour les zones imperméabilisées, les zones boisées et les zones cultivées respectivement.

$$C_{RM} = (0,01*0,9) + (0,65*0,1) + (0,34*0,2) = \mathbf{0,142}$$

Connaissant la pluviométrie moyenne annuelle (P), le ruissellement moyen annuel (R) dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud s'obtient par :

$$R = P * C_{RM} = 1170 * 0,142 = \mathbf{166 \text{ mm}}$$

➤ Infiltration

Elle peut être logiquement déduite quand on connaît le ruissellement. En effet, c'est la part de l'excédent (Exc) qui n'est ni reprise par le ruissellement, ni pour la recharge de la nappe.

$$I = Exc - (\Delta R_s + R) = 461 \text{ mm} - (12 \text{ mm} + 166 \text{ mm}) = \mathbf{283 \text{ mm}}$$

c) Expression du bilan d'eau du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

L'estimation des différents termes du bilan d'eau nous permet dès à présent d'établir le bilan hydrologique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud, pour une année hydrologique moyenne.

- Les entrées : essentiellement constituées des précipitations (**P**)
- Les sorties : l'évapotranspiration réelle (**ETR**), le ruissellement (**R**) et l'infiltration (**I**).

$$\begin{aligned} \text{Bilan d'eau} &= \Sigma \text{entrées} - \Sigma \text{sorties} \\ &= \mathbf{P} - (\mathbf{ETR} + \mathbf{R} + \mathbf{I}) \\ &= \mathbf{1170} - (\mathbf{709} + \mathbf{166} + \mathbf{283}) \\ &= \mathbf{12 \text{ mm}} = \Delta \mathbf{R} \end{aligned}$$

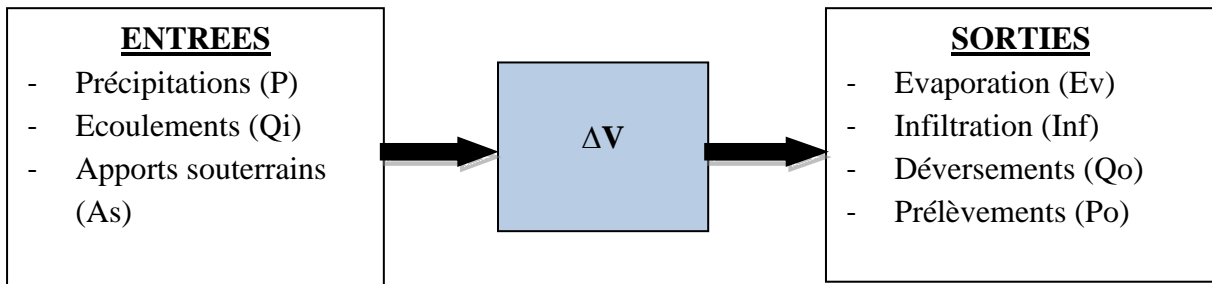
Ainsi, dans le bassin versant de la retenue d'eau de Guessou-Sud, 61 % de l'ensemble des précipitations qui y arrivent au cours d'une année repartent dans l'atmosphère ; tandis que 38 % de ces précipitations s'écoulent et 1 % participe à la recharge de la nappe.

5.3.2. Approche méthodologique pour l'établissement du bilan hydrique de la cuvette

a) Principe du bilan hydrique au sein d'une cuvette

Le bilan d'eau, dans ce cas, cherche à établir une balance entre les entrées et les sorties en eau d'un bassin de stockage pendant une période de temps déterminée selon cette équation de continuité :

$$\Sigma \text{entrées} - \Sigma \text{sorties} = \Delta V$$



Sachant que les apports souterrains dans notre bassin versant sont nuls, le bilan d'eau au sein de la retenue de Guessou-Sud se résume à l'équation suivante :

$$\Delta V = Q_i \cdot \Delta t + P \cdot S - (E_v \cdot S + Inf \cdot S + P_o \cdot S + Q_o \cdot \Delta t)$$

Où, $\Delta V = \Delta H \cdot S / \Delta t$

Avec :

ΔH : variation du niveau d'eau dans la cuvette (m)

Δt : le temps (s)

ΔV : variation de volume dans la cuvette (m³)

E_v : l'évaporation du plan d'eau (m)

Inf : l'infiltration (m)

P : la hauteur de pluie dans le pluviomètre (m)

Po : les prélèvements (m)

Qi : débit entrant (m³/s)

Qo : débit sortant (m³/s)

S : la surface du plan d'eau (m²)

b) Périodes d'estimation des principaux termes du bilan hydrique de la cuvette

L'estimation des principaux termes du bilan d'eau de la retenue de Guessou-Sud a été possible grâce à l'installation d'un réseau de suivi de certains paramètres sur site et à l'expression du fonctionnement hydrologique de la retenue à des périodes bien précises. En effet trois phases caractéristiques s'échelonnent au cours de l'année au sein de la retenue ; et le bilan d'eau de la cuvette peut être exprimé pour chacune d'elles.

- Phase 1 (période de montée ou de remplissage) : Elle se situe en début de saison pluvieuse. Les eaux qui arrivent, constituées des précipitations au-dessus de la cuvette et/ou des premiers écoulements, causent uniquement une hausse du volume d'eau dans la cuvette ; aucun déversement n'est encore observé. La côte du plan d'eau dans la cuvette n'a pas dépassé le maximum.

$$\mathbf{H \leq 325 \text{ mm, donc } Q_o = 0}$$

L'expression du bilan est alors : $\Delta V = Q_i \cdot \Delta t + P \cdot S - (E_v \cdot S + \text{Inf} \cdot S + P_o \cdot S)$, d'où

$$\mathbf{Q_i = (\Delta H - P + E_v + \text{Inf} + P_o) \cdot S / \Delta t}$$

- Phase 2 (période des débordements ou des déversements) : Elle se situe au cœur de la saison pluvieuse et se poursuit même au-delà. C'est quand la cuvette est pleine et quand les eaux qui arrivent sortent des limites de celle-ci. Ce surplus d'eau occupe d'abord la zone inondable et ensuite poursuit son chemin vers le réseau hydrographique aval de la retenue. Durant cette période, les eaux contenues dans la cuvette ne sont pas sollicitées par les usagers habituels.

$$\mathbf{H > 325 \text{ mm et } P_o = 0}$$

L'expression du bilan est alors : $\Delta V = Q_i \cdot \Delta t + P \cdot S - (E_v \cdot S + \text{Inf} \cdot S + Q_o \cdot \Delta t)$, d'où

$$\mathbf{Q_i = Q_o + (E_v + \text{Inf} - P - \Delta H) \cdot S / \Delta t}$$

- Phase 3 (période de décrue) : Elle se situe en saison sèche, quand tout écoulement et tout déversement est arrêté. La côte du plan d'eau diminue continuellement sur la demande des usagers d'une part, et d'autre part sur celle de l'évaporation et de l'infiltration.

$$\mathbf{H < 325 \text{ mm et } Q_i = Q_o = 0}$$

L'expression du bilan d'eau est alors : $\Delta V = P \cdot S - (E_v \cdot S + \text{Inf} \cdot S + P_o \cdot S)$, d'où

$$\mathbf{P_o = P - E_v - \text{Inf} - \Delta H / (dt)}$$

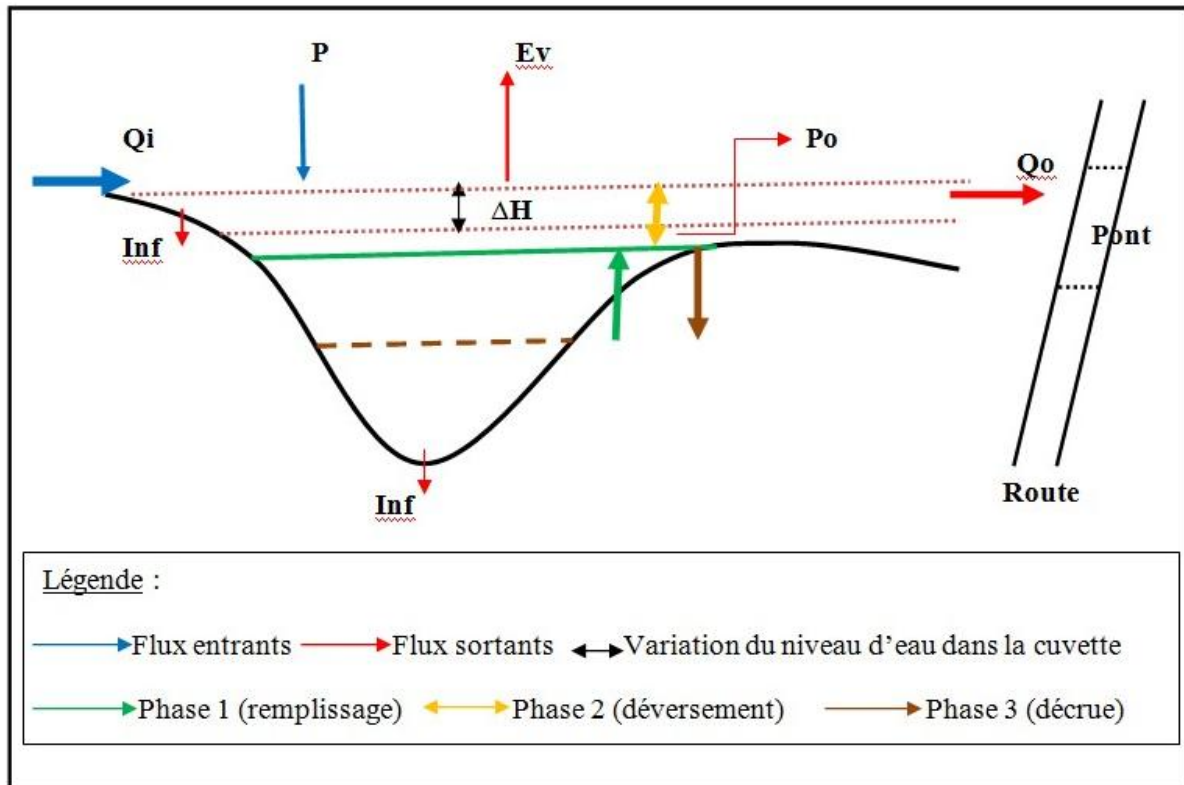


Figure 37 : cuvette de la retenue et ses composantes hydrologiques

c) Périodes observées

L'absence d'informations objectives sur les chroniques de remplissage/vidange de la cuvette, les volumes prélevés/infiltrés annuellement et sur les déversements nous a contraint d'installer momentanément un réseau de mesures continues pour l'estimation de quelques paramètres hydrologiques. Cependant, la forte variabilité interannuelle de la répartition des pluies ne nous a permis d'observer lors de nos séjours sur place que les phases 1 et 3. En effet, au 1^{er} août 2011, la cuvette n'était même pas remplie ; tandis qu'au 12 juillet 2012, elle débordait déjà. La phase 2, de remplissage, n'a donc pas pu être observée.

➤ Période de décrue (phase 3)

Les observations et les mesures ont été effectuées entre le 21 mars et le 23 avril 2012.

- Matériels et méthodes de mesures et suivi des paramètres

Les paramètres suivis étaient les précipitations journalières, l'évaporation journalière, la variation journalière de la côte du plan d'eau et l'infiltration journalière.

- Les précipitations journalières (**P**) ont été mesurées à l'aide de 2 pluviomètres installés sur le site, près de la cuvette.
- L'Évaporation (**Ev**) a été mesurée à l'aide d'un bac Colorado enterré dans la cuvette de la retenue. L'évaporation journalière du plan d'eau a été calculée à partir de celle enregistrée dans le bac Colorado en appliquant un facteur de correction.

En effet, les travaux menés par l'ORSTOM en 1992 sur la station de Ina avaient permis d'établir la relation suivante :

$$E_{v_{lac}}/E_{v_{Colorado}} = 0,90 \longrightarrow E_{v_{lac}} = 0,90 * E_{v_{Colorado}}$$

- La variation journalière de la côte d'eau dans la cuvette (ΔH) a été mesurée à l'aide d'une canne graduée fixée dans la cuvette. La détermination des variations du volume d'eau et de la surface du plan d'eau a été possible à partir des courbes Hauteur-Volume-Surface établies (figures 34 et 35).
- L'infiltration journalière (**Inf**) a été mesurée à l'aide d'un autre bac (bac Colorado ouvert à sa base) enterré dans la cuvette. L'infiltration était déduite en faisant la balance entre les variations du niveau d'eau mesurées dans le bac Colorado et celles mesurées dans l'autre bac, sachant que les variations du niveau d'eau dans ce bac sont dues à l'action combinée de l'évaporation et de l'infiltration.

- **Résultats d'observation de la période de décrue**

- Trois précipitations (01/04/2012 : 39 mm, 03/04/2012 : 14 mm et 12/04/2012 : 10 mm) ont été enregistrées au niveau des pluviomètres pendant la période d'observation.

$$P = 63 \text{ mm}$$

Ces pluies représentent tous les événements pluvieux du mois d'avril 2012.

Cette pluviométrie du mois d'avril 2012 correspond pratiquement (98 %) à la pluviométrie moyenne d'avril pour la période 1960-2008 ; donc ce mois d'avril 2012 peut être considéré comme moyen.

- L'évaporation totale mesurée au niveau du bac Colorado pendant 29 jours d'observation est 218 mm. En effet, nous n'avons pas retenu 4 mesures pour cause de sabotage des installations. La moyenne journalière a été estimée à :

$$E_{v_{Colorado}} = 7,5 \text{ +/- } 1,8 \text{ mm/j}$$

Cette valeur moyenne de l'évaporation est supérieure à 6,6 mm/j ; valeur moyenne, pour la période équivalente (cumul de l'évaporation de la dernière décade de mars et de celle des deux premières décades d'avril = $1/3 * 6,9 \text{ mm/j} + 2/3 * 6,4 \text{ mm/j}$), enregistrée à la station de Ina pour la période 1961-1963. L'estimation de l'évaporation totale du plan d'eau pour la période d'observation (33 jours), donne :

$$E_v = 7,5 \text{ mm/j} * 0,9 * 33 \text{ j} = 223 \text{ mm}$$

- La variation totale du niveau d'eau enregistrée dans la retenue est :

$$\Delta H = 255 \text{ cm} - 210 \text{ cm} = 450 \text{ mm}$$

Elle correspond à une variation totale de volume d'eau dans la cuvette de,

$$\Delta V = 2459 \text{ m}^3$$

- L'infiltration totale obtenue après 29 jours dans le bac ouvert est 382 mm. Si nous écartons les mesures des premiers 10 jours, période après laquelle nous estimons

qu'un certain équilibre s'établit et que les pertes par infiltration horizontale sont minimisées, nous obtenons alors,

$$\text{Inf} = 10,9 \pm 2,7 \text{ mm/j}$$

Sachant que la sédimentation dans la cuvette renforce de façon notable son étanchéité, nous pouvons appliquer un facteur de correction ($k = 0,5$) pour obtenir l'infiltration dans la cuvette à partir de celle mesurée dans le bac. Nous considérons que la mise en eau de la retenue depuis son surcreusement dans les années 80 aurait amélioré son étanchéité de 50 %. Ainsi,

$$\text{Inf} = 5,5 \text{ mm/j, soit } 181 \text{ mm pour la période d'observation.}$$

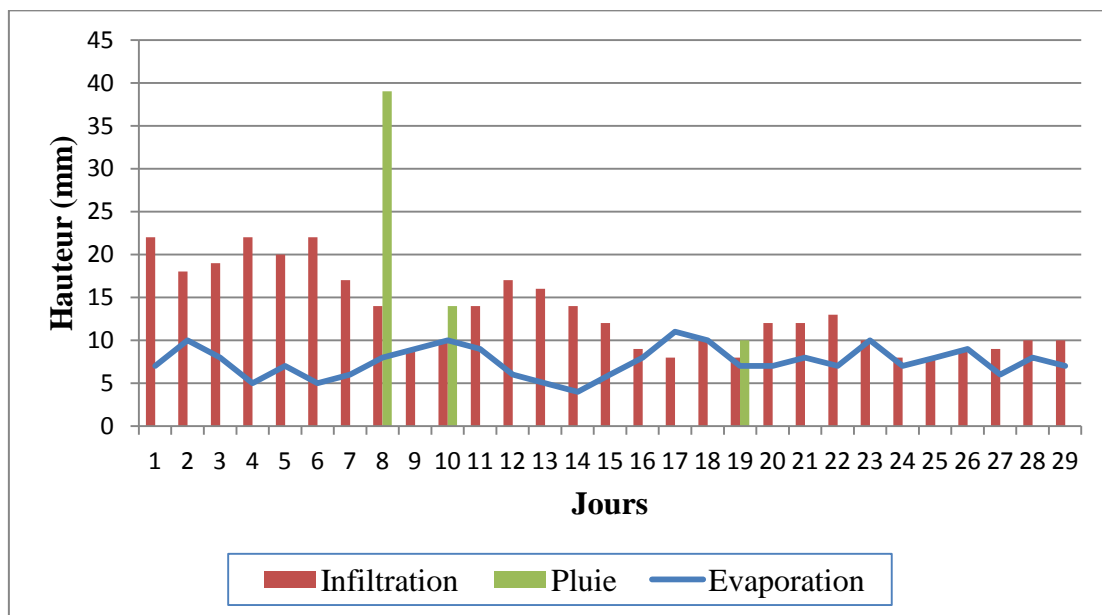


Figure 38 : résultats de mesures des paramètres de suivi pour la période allant du 21/03/2012 au 23/04/2012 à la retenue de Guessou-Sud

➤ Période de déversements (phase 2)

Nous avons pu l'observer entre le 13/08/2012 et le 07/09/2012.

- **Mesure des débits**

En plus des paramètres suivis pendant la période de décrue (sauf l'infiltration), il s'est agi de suivre les débits de sortie (Q_0). Pour cela, nous avons fait appel à la méthode des flotteurs ; en raison de la présence d'un pont situé à 100 m de la cuvette, qui en plus d'offrir des caractéristiques acceptables pour la mesure, est l'unique canal où passent toutes les eaux sortant de la cuvette.

- Les caractéristiques géométriques du pont

Le pont ayant servi aux mesures des débits sortants fait 10 m de long, pour une hauteur de 1 m. Sa largeur est constituée de deux canaux de 1 m chacun séparés par une cloison de 0,2 m ; soit un total de 2,2 m. Ce pont descend de 10 cm sur ses 10 m de long. Toutes ses parois, son toit et son fond sont en béton.

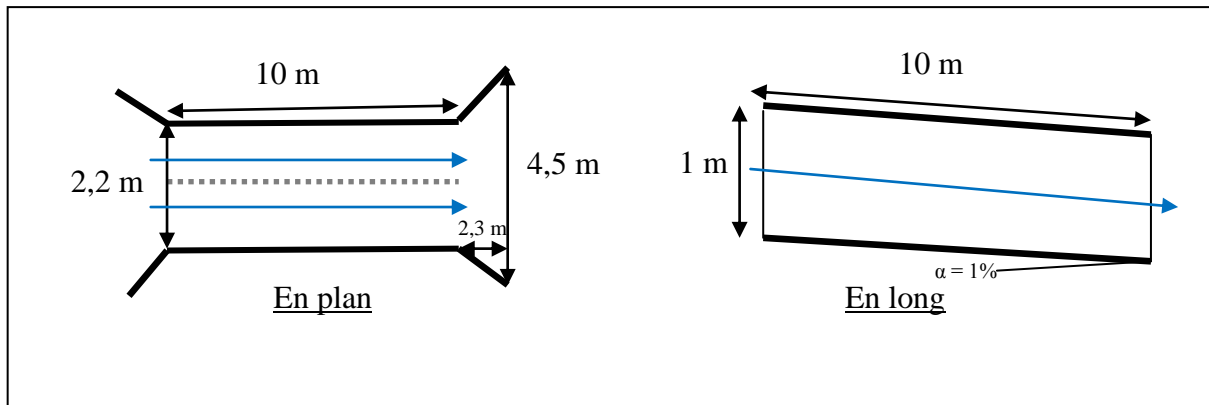


Figure 39 : schéma du pont de mesure des débits de sortie de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

- La méthode des flotteurs

Elle exprime le débit à un moment donné par la formule suivante :

$$Q_0 = K \cdot V_m \cdot S$$

Q₀ : débit de sortie (m³/s) ;

V_m : vitesse moyenne ou le temps mis par le ou les flotteurs pour parcourir une distance (m/s)

S : section mouillée (m²) ;

K : coefficient de débit ≤ 1.

Tableau 58 : valeurs de K en fonction du rapport R entre la profondeur d'immersion du flotteur et la profondeur de l'eau

| | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|
| R | ≤ 0,1 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 0,95 |
| K | 0,86 | 0,88 | 0,90 | 0,94 | 0,98 |

- Matériel de mesure des débits sortants

Pour chaque mesure des débits au niveau du pont, nous disposons de :

Six flotteurs : tiges d'une herbe saisonnière que l'on rencontre dans les lits des cours d'eau de la région ;

Un chronomètre pour mesurer le temps (t) mis par chaque flotteur pour parcourir les 10 m de long que fait le pont ;

Une canne graduée de 1 à 100 cm pour mesurer la hauteur d'eau au pont (H_{pont}).

Ainsi, **K = 0,86** ; **S = 2m*H_{pont}** et **V_m = 10m/T_m** avec **T_m = Σt/6**

- Résultats de mesure des débits sortants

Les débits sortants caractéristiques enregistrés sont :

$$Q_{0_{\max}} = 1,204 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{0_{\min}} = 0,079 \text{ m}^3/\text{s} \text{ et } Q_{0_{\text{moy}}} = 0,238 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le volume total d'eau sortie de la cuvette pendant la période d'observation est :

$$V_o = 323\,028\text{ m}^3$$

- Valeurs des autres paramètres suivis

- La pluviométrie totale de la période d'observation est : **P = 168 mm**

Cette valeur représentant la pluviométrie de la dernière décade d'août et celle de la première décade de septembre, est légèrement supérieure à sa correspondante moyenne (162 mm) pour la période 1960-2008. Donc, cette période est humide.

- L'évaporation moyenne mesurée à l'aide du bac Colorado pendant la période d'observation est :

$$E_{\text{Colorado}} = 4,1 \pm 0,7\text{ mm/j}$$

Cette valeur est supérieure à 3,4 mm/j (moyenne des mois d'août et septembre) enregistrée à Ina durant la période 1961-1963.

Donc pour la période concernée,

$$E_v = 4,1\text{mm/j} \cdot 0,9 \cdot 19\text{ j} = 70\text{ mm}$$

- La variation totale du niveau d'eau dans la cuvette est :

$$\Delta H = 225\text{ mm}$$

Cette valeur équivaut à une variation totale de volume d'eau de : $\Delta V = 5247\text{ m}^3$

- En considérant la valeur d'infiltration estimée pendant la période de décrue, nous arrivons à une infiltration totale pour la période de :

$$I_{\text{nf}} = 10,9\text{ mm/j} \cdot 0,5 \cdot 19\text{ j} = 104,5\text{ mm}$$

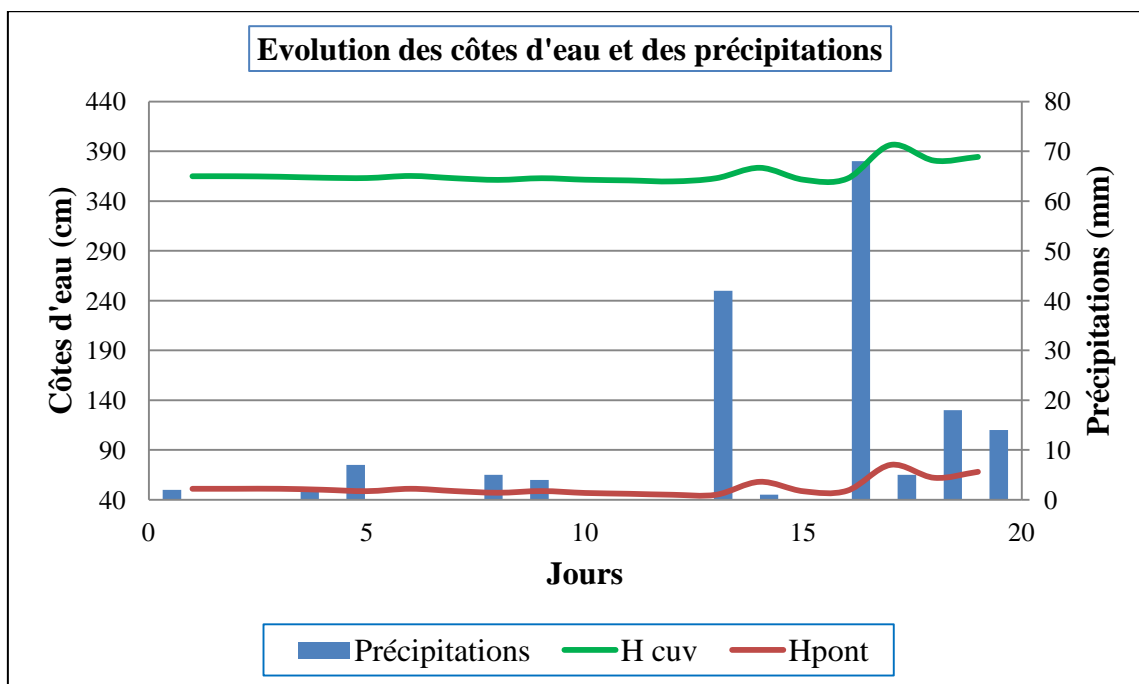


Figure 40 : évolution des côtes d'eau dans la cuvette et au pont et des précipitations

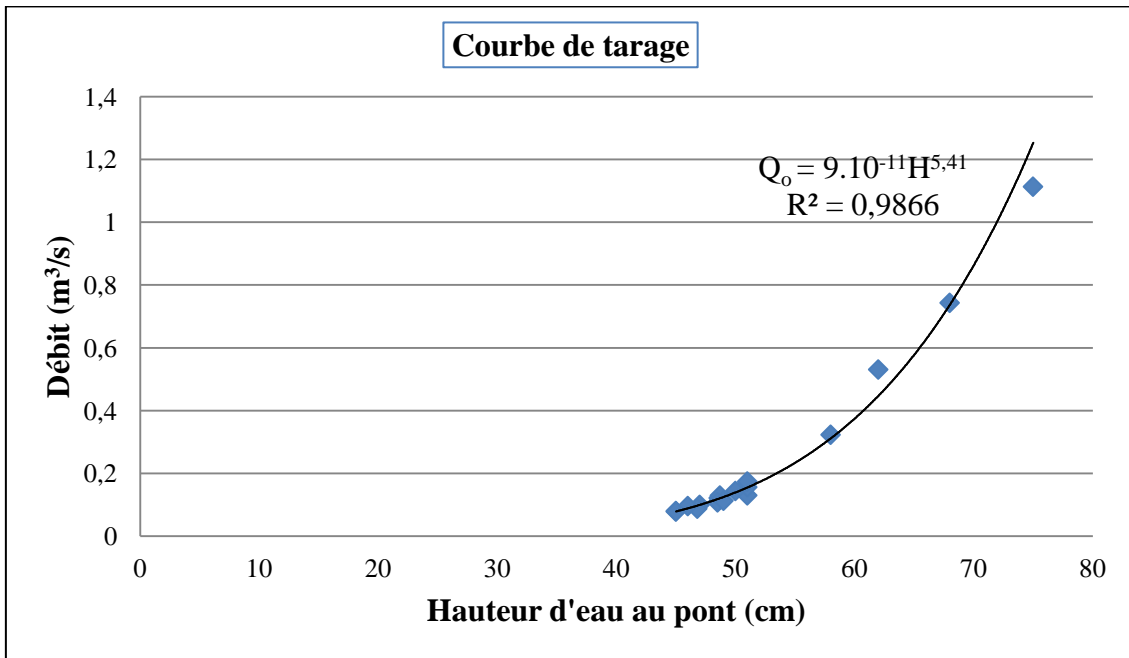


Figure 41 : courbe de tarage du pont de mesure des débits

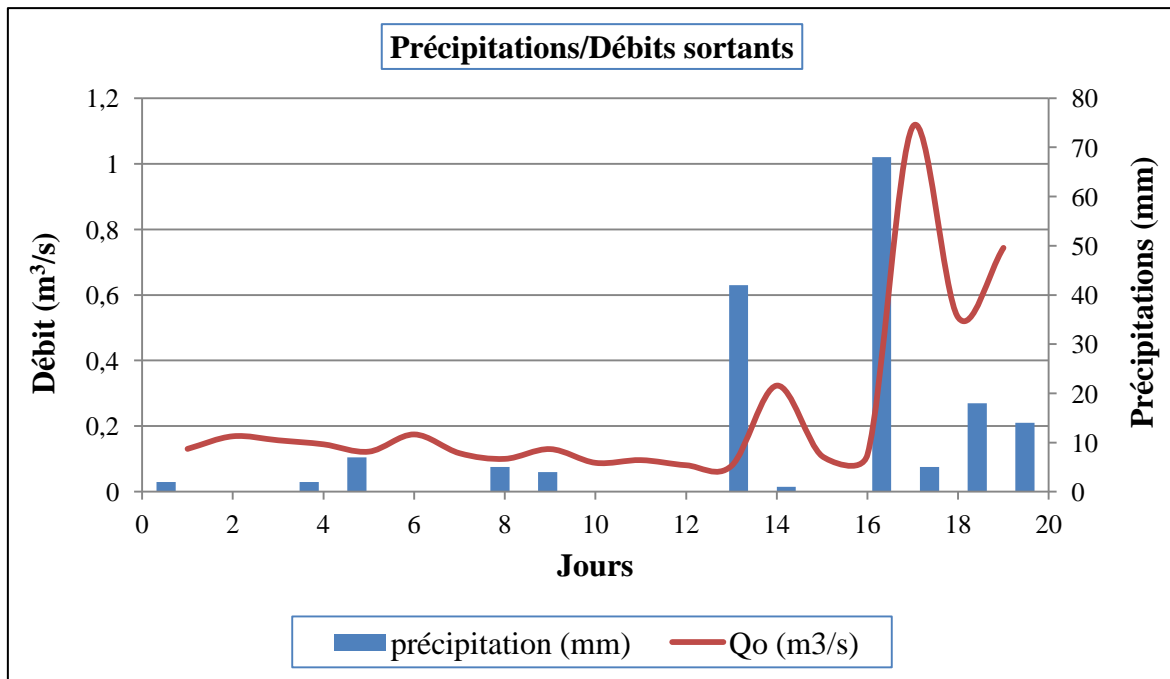


Figure 42 : évolution des débits sortants et des précipitations

d) *Estimation des termes du bilan hydrique de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud*

➤ Période de décrue

L'équation qui la traduit est:

$$\Delta V = P \cdot S - (E_v \cdot S + I_n \cdot S + P_o \cdot S)$$

Elle nous permet d'estimer les prélèvements connaissant les valeurs des autres termes. Ainsi ;

Tableau 59 : valeurs des différents termes du bilan d'eau pendant la période de décrue

| Paramètres | Hauteur (mm) | Volume (m ³) | Surface (m ²) |
|--------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|
| Precipitations (P) | 63 | 344,3 | |
| Evaporation (Ev) | -223 | -1218,6 | |
| Infiltration (Inf) | -181 | -989 | 5464,4 |
| ΔCuvette | -450 | -2459 | |
| Prélèvements (Po) | 109 | 595,6 | |

$$Po = P - Ev - Inf - \Delta H / (dt) = 63 \text{ mm} - 223 \text{ mm} - 181 \text{ mm} + 450 \text{ mm} = 109 \text{ mm}$$

$$D'où : Ev = 37 \text{ m}^3/j ; Inf = 30 \text{ m}^3/j ; Po = 18 \text{ m}^3/j$$

Donc les besoins moyens actuels à satisfaire pendant la période de décrue sont :

$$\text{Besoins} = Ev + Inf + Po = 37 + 30 + 18 = 85 \text{ m}^3/j$$

➤ Période de débordements

L'équation qui la traduit est :

$$\Delta V = Qi * \Delta t + (P - Ev - Inf) * S - Qo * \Delta t$$

$$\text{Avec : } S = S_{\text{moy}} = 21474 \text{ m}^2 \text{ et } Qo * \Delta t = Vo$$

À partir des courbes hauteur/volume/surface, nous avons pu estimer les volumes et les surfaces équivalents aux niveaux du plan d'eau dans la cuvette (Hcuv).

Connaissant dès à présent tous les autres termes, elle nous permet d'estimer les volumes entrants dans la cuvette pendant toute la période d'observation. Ainsi ;

$$Vi = 5247,4 \text{ m}^3 + 139,6 \text{ m}^3 + 323\,028,5 \text{ m}^3 = 328\,415,5 \text{ m}^3$$

Tableau 60 : valeurs des différents termes du bilan d'eau pendant la période de débordements

| Paramètres | Hauteur (mm) | Surface (m ²) | Volume (m ³) |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Précipitations (P) | 168 | | 3607,6 |
| Evaporation (Ev) | 70 | 21 474 | 1503,2 |
| Infiltration (Inf) | 104,5 | | 2244,0 |
| ΔV | = ΣΔVj où Vj = f (Hcuv) | | 5247,4 |
| Vo | = ∫Qo/t | | 323 028,5 |
| Vi | = ΔV - (P - Ev - Inf)*S + Vo | | 328 415,5 |

Presque toutes les eaux (98 %) arrivées dans la cuvette de la retenue pendant la période d'observation sont ressorties pour alimenter les cours d'eau situés à l'aval du bassin versant. Le volume total d'eau entré dans la cuvette de la retenue pendant la période d'observation

représente 18 mm de lame d'eau écoulee ; soit 11 % des précipitations enregistrées sur l'ensemble du bassin versant.

5.3.3. Etablissement du bilan hydrique de la cuvette

Afin de bien cerner le fonctionnement actuel de la retenue de Guessou-Sud, nous allons considérer un état stable ou objectivement contrôlable où, seule la cuvette proprement dite de la retenue est prise en compte, sa plaine inondable n'étant pas considérée à cause de sa relative planéité.

a) Caractéristiques pluviométriques et hydrométriques de la cuvette

Le paramètre principal de caractérisation de la retenue d'eau de Guessou-Sud est la hauteur du plan d'eau. De cette hauteur, on détermine, à l'aide des relations H-V-S, les quantités d'eau stockées et les surfaces occupées. Dans notre cas, les conditions optimales sont atteintes lorsque le plan d'eau a atteint la hauteur maximale de 325 cm (remplissage total de la cuvette mais sans qu'il ait de déversements). Ainsi, pour définir les relations liant spécifiquement la hauteur d'eau dans la cuvette à son volume et à la surface occupée par le plan d'eau, nous avons repris les données obtenues des levés topographiques de la cuvette et de leur traitement par le logiciel *Surfer.8* ; mais cette fois-ci, nous nous sommes limités aux valeurs traduisant l'état d'équilibre défini ($H \leq 325$ cm). Leurs expressions sont les suivantes :

$$V = 0,1243H^2 - 0,5874H + 21 \quad (R^2 = 0,9994)$$

$$S = 0,0147H^2 + 20,365H + 170 \quad (R^2 = 0,9911)$$

$$H = -2.10^{-6}V^2 + 0,0406V + 38,57 \quad (R^2 = 0,9875)$$

H : hauteur de l'eau dans la cuvette (cm) ; V : volume d'eau dans la cuvette (m^3)

S : surface du plan d'eau (m^2).

$$\text{Pour } H_{\max} = 325 \text{ cm} \iff V_{\max} = 12959 \text{ m}^3 \text{ et } S_{\max} = 8341 \text{ m}^2$$

b) Fonctions hydrologiques majeures de la cuvette et leur répartition annuelle

La cuvette de la retenue de Guessou-Sud a diverses fonctions, mais du point de vue strictement hydrologique ; nous lui reconnaissons les fonctions de réception, de stockage et de transfert.

- Fonction réceptrice : La cuvette de la retenue de Guessou-Sud est un espace aménagé qui reçoit les eaux météoriques (eaux de pluies directes tombées en son sein et eaux d'écoulement en provenance du bassin versant amont dont elle constitue l'exutoire).
- Fonction réservoir : la cuvette de Guessou-Sud stocke une partie des eaux qu'elle reçoit en son sein ($\Delta V > 0$). Sa capacité maximale actuelle de stockage étant d'environ 13 000 m^3 . Cette eau est à la disposition des usagers qui pourront l'utiliser ultérieurement ($\Delta V < 0$).

- **Fonction transfert** : la cuvette de Guessou-Sud transfère une grande partie des eaux qu'elle reçoit soit dans l'atmosphère (évaporation), soit en profondeur (infiltration) et soit au milieu aval (écoulement en direction du réseau hydrographique aval).

Au cours d'une année hydrologique, toutes ces fonctions peuvent être remplies. Cependant, les processus hydrologiques le permettant se superposent et/ou s'échelonnent dans le temps, avec une plus ou moins grande ampleur. Ainsi, si nous reprenons les phases observables au sein de la cuvette au cours d'une année, nous pouvons dire que :

- Pendant la phase de montée, les processus hydrologiques actifs tels que les précipitations et les écoulements prennent le pas sur l'évaporation et l'infiltration. Cela se traduit par une augmentation continue du volume d'eau dans la cuvette jusqu'à son remplissage complet : la cuvette stocke de l'eau. Cette phase dure approximativement 2 mois et nous la situons entre les mois de juin et juillet ; quand d'abondantes pluies directement tombées au-dessus de la cuvette et les écoulements ponctuels générés, occasionnent des montées d'eau dans la cuvette. On considère qu'une fois l'écoulement continu établi, le remplissage de la cuvette lui est successif.
- Pendant la phase de déverse, l'ensemble des précipitations et des écoulements arrivant au sein de la cuvette sont tellement importants qu'ils ne peuvent plus être retenus dans la cuvette. Après avoir satisfait l'évaporation et l'infiltration, on assiste à une évacuation du surplus vers le réseau aval : la cuvette est pleine pendant toute cette période ; donc, le volume stocké ne varie pas ($\Delta V = 0$). Cette phase dure approximativement 4 mois et nous la situons entre les mois d'août et de novembre.
- Pendant la phase de descente, l'évaporation et l'infiltration prennent le pas sur les précipitations ; les prélèvements sont effectifs et on n'observe ni de débits entrants, ni de débits sortants. Cela se traduit par une diminution des eaux retenues dans la cuvette : $\Delta V < 0$. Cette phase est la plus longue et dure approximativement 6 mois. Nous la situons entre les mois de décembre et de mai.

Tableau 61 : répartition annuelle des fonctions hydrologiques de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

| PHASE | DUREE | FONCTIONS HYDROLOGIQUES | | |
|----------|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | | Réceptive | Réservoir | Transfert |
| MONTEE | 2 mois (01 juin-31 juillet) | Précipitations Ecoulements (débits entrants) | $\Delta V > 0$ | Evaporation Infiltration |
| DEVERSE | 4 mois (01 août - 31 novembre) | Précipitations Ecoulements (débits entrants) | $\Delta V = 0$ | Evaporation Infiltration Débits sortants |
| DESCENTE | 6 mois (01 décembre-31 mai) | Précipitations | Prélèvements $\Delta V < 0$ | Evaporation Infiltration |

c) *Bilan hydrique moyen annuel de la cuvette*

Etant donné le cycle de l'eau dans la cuvette, le bilan d'eau annuel est l'instrument le plus à même de traduire le fonctionnement de la retenue. Nous essayerons de l'établir pour l'année hydrologique moyenne de la période d'étude choisie (1960-2008). Les considérations pour les termes du bilan sont les suivantes :

- Les précipitations directes sur le plan d'eau (P) sont les moyennes mensuelles de la période 1960-2008.
- Les valeurs retenues pour l'évaporation du plan d'eau (Ev) sont les moyennes mensuelles obtenues par l'ORSTOM durant la période 1961-1963 (tableau 54), de par leur précision par rapport à celles obtenues à l'aide de l'évaporimètre de Piche durant la période 1950-1962. Bien plus encore, les variations observées entre les valeurs d'évaporation obtenues par nos soins pour les mois d'avril et d'août 2012, et celles de l'ORSTOM (1961-1963) traduiraient une augmentation et suggèreraient l'application d'un facteur correcteur moyen de l'ordre de 1,17. D'autre part, le passage de l'évaporation en bac Colorado à l'évaporation du plan d'eau nécessitait déjà l'application d'un facteur de correction de 0,9. Par conséquent, le produit de ces deux facteurs, proche de l'unité, nous donne de considérer les valeurs de l'ORSTOM (1961-1963) comme valeurs actuelles d'évaporation du plan d'eau.
- L'infiltration (Inf) est considérée constante durant toute l'année à hauteur de 5,5 mm/j.
- Les prélèvements (Po) sont également considérés comme constants à hauteur de 18 m³/j. Il convient de noter que cette valeur, obtenue lors de mesures effectuées en avril (mois chaud et sec), représenterait le pic des prélèvements. Ainsi, en considérant cette valeur pour les autres mois, nous nous mettons déjà dans le sens de la sécurité. Les prélèvements sont sensés débiter le 15 décembre pour s'achever le 15 juin.
- Les volumes entrants (Vi) sont calculés à partir des excédents mensuels (Exc_i) obtenus lors de l'établissement du bilan d'eau du bassin versant ; en supposant que les volumes entrants pendant le mois i sont constitués du ruissellement du mois i et de l'écoulement des eaux d'infiltration du mois précédent (i-1). Les volumes sortants (Vo) pourront être déduits des autres termes du bilan.

$$V_i = [R_i + \text{Inf}_{(i-1)}] * S$$

V_i : volume total écoulé au mois i (m³) ; **S** : surface du bassin versant = 18,32 km²

R_i : lame d'eau ruisselée au mois i (mm) = **Exc_i** * **K_R**

Où, **Exc_i** = excédent du mois i (mm)

K_R = lame annuelle ruisselée/Exc. annuel = 166 mm/461 mm = 0,360

Inf_(i-1) : lame d'eau infiltrée au mois i-1 (mm) = **Exc_(i-1)** * **K_{Inf}**

Où, **Exc_(i-1)** = excédent du mois i-1 (mm)

K_{Inf} = lame annuelle infiltrée/Exc. annuel = 283 mm/461 mm = 0,614

Exc. Annuel = lame d'eau disponible pour l'écoulement et la recharge des nappes = **P** – **ETR**

Où, P = total pluviométrique moyen annuel (mm)

ETR = évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm)

Tableau 62 : volumes mensuels entrant dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud (* détails de calcul en dessous)

| Mois | Excédent (mm) | Infiltration (mm) | Ruissellement (mm) | Volume entrant (m ³) |
|-----------|---------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|
| Juin | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Juillet | 120 | 74 | 43 | 791 424 |
| Août | 171 | 105 | 62 | 2 477 597* |
| Septembre | 163 | 100 | 59 | 2 998 508 |
| Octobre | 7 | 4 | 3 | 1 879 669 |
| Novembre | 0 | 0 | 0 | 78 739 |
| Décembre | 0 | 0 | 0 | 0 |

Détails de calcul

$$2\,477\,597\text{ m}^3 = V_{i_{\text{août}}} = [R_{\text{août}} + \text{Inf}_{\text{juillet}}] * S = [(Exc_{\text{août}} * K_R) + (Exc_{\text{juillet}} * K_{\text{Inf}})] * S$$

$$= [(0,171\text{ m} * 0,360) + (0,120\text{ m} * 0,614)] * 18,32 \cdot 10^6\text{ m}^2$$

Les tableaux 64 et 65 présentent le bilan d'eau annuel de la retenue de Guessou-Sud pour une année hydrologique moyenne. Il a été réalisé en partant d'une cuvette pleine (fin de la phase de déversements et début de la phase de descente) et en suivant son évolution jusqu'à la fin de la phase de déverse. La cuvette transférerait sous forme d'écoulement, la quasi-totalité (99,8 %) des eaux qu'elle reçoit. Cependant, malgré sa faible capacité de rétention, les eaux qu'elle retient parviennent à satisfaire les besoins actuels des utilisateurs. En effet, la cuvette ne se vide pas complètement au cours de l'année ; ce serait la principale raison pour laquelle le site a attiré l'attention des concepteurs du projet REGIA. L'évolution des quantités d'eau stockées est représentée par la figure 43 ; la valeur attribuée à un mois quelconque est la moyenne des volumes enregistrés au début (V_{initial}) et à la fin (V_{final}) dudit mois.

Tableau 63 : valeurs mensuelles considérées des paramètres pour l'établissement du bilan d'eau annuel de la retenue de Guessou-Sud

| MOIS | Jours | P (mm) | Vi (m ³) | Ev (mm) | Inf (mm) | Po (m ³) | Vo (m ³) |
|--------------|------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------------|
| Décembre | 31 | 2 | 0 | 161 | 171 | 279 | 0 |
| Janvier | 31 | 2 | 0 | 167 | 171 | 558 | 0 |
| Février | 28 | 4 | 0 | 185 | 155 | 504 | 0 |
| Mars | 31 | 21 | 0 | 214 | 171 | 558 | 0 |
| Avril | 30 | 64 | 0 | 192 | 165 | 540 | 0 |
| Mai | 31 | 127 | 0 | 170 | 171 | 558 | 0 |
| Juin | 30 | 167 | 0 | 135 | 165 | 270 | 0 |
| Juillet | 31 | 202 | 79 1424 | 127 | 171 | 0 | V _{Ojuillet} |
| Août | 31 | 247 | 2 477 597 | 99 | 171 | 0 | V _{Oaoût} |
| Septembre | 30 | 238 | 2 998 508 | 108 | 165 | 0 | V _{Oseptembre} |
| Octobre | 31 | 91 | 1 879 669 | 143 | 171 | 0 | V _{Ooctobre} |
| Novembre | 30 | 5 | 78 739 | 159 | 165 | 0 | V _{Onovembre} |
| Total | 365 | 1170 | 8 225 936 | 1860 | 2009 | 3267 | V_Oannuel |

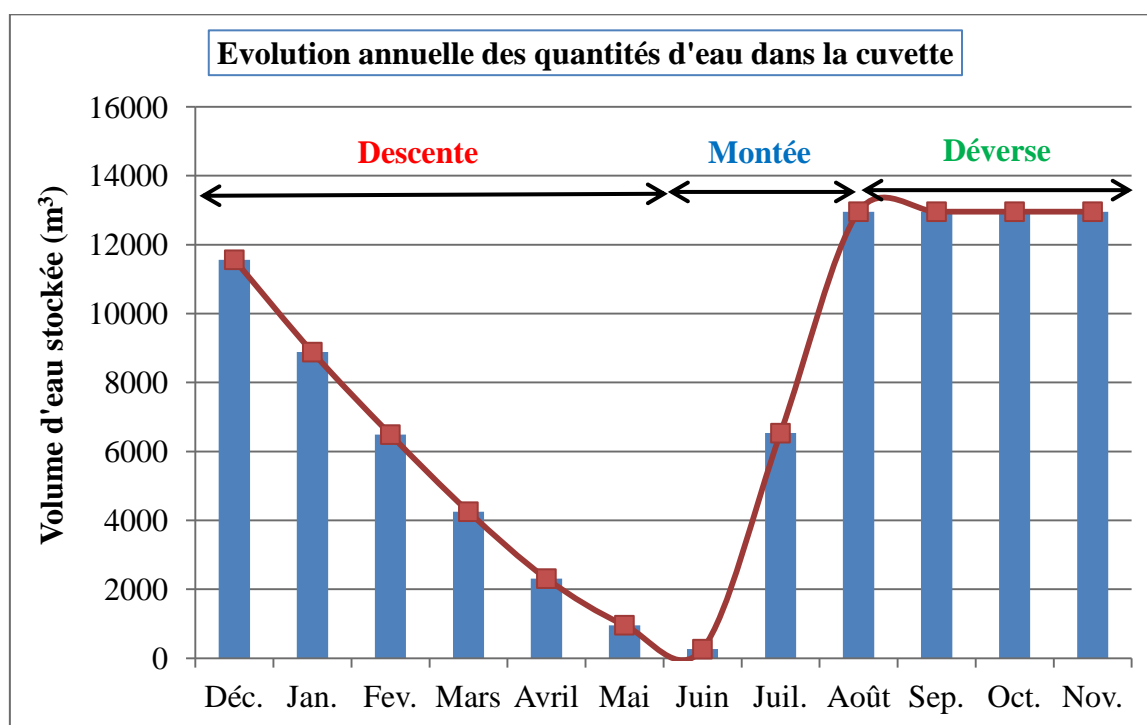


Figure 43 : évolution des quantités d'eau stockée dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

Tableau 64 : bilan d'eau moyen annuel de la retenue de Guessou-Sud

| Paramètres | V _{initial} | H | ΔH_1 | H' | V' | Po | V'' | ΔH_2 | H'' | Vi | V _{final} ≤12959 | Vo | H _f ≤325 |
|--------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|-----|--------|------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| Formules | - | - | P-Ev-Inf | H+ ΔH_1 | f(H') | - | V'-Po | $\frac{f(V'')}{f(V')}$ | H'+ ΔH_2 | - | V''+Vi | Vi+V''-V _{final} | H''+ ΔH_i |
| Unités | (m ³) | (cm) | | | (m ³) | | | (cm) | | (m ³) | | | (cm) |
| Déc. | 12 959 | 325 | -33 | 292 | 10 448 | 279 | 10 169 | -0,2 | 291,8 | 0 | 10 169 | 0 | 291,8 |
| Jan. | 10 169 | 292 | -34 | 258 | 8 158 | 558 | 7 600 | -5,1 | 253,2 | 0 | 7 600 | 0 | 253,2 |
| Fév. | 7 600 | 253 | -34 | 220 | 5 884 | 504 | 5 380 | -9,1 | 210,4 | 0 | 5 380 | 0 | 210,4 |
| Mars | 5 380 | 210 | -36 | 174 | 3 684 | 558 | 3 126 | -15,1 | 159,0 | 0 | 3 126 | 0 | 159,0 |
| Avril | 3 126 | 159 | -29 | 130 | 2 035 | 540 | 1 495 | -18,1 | 111,6 | 0 | 1 495 | 0 | 111,6 |
| Mai | 1 495 | 112 | -21 | 90 | 979 | 558 | 421 | -21,1 | 69,1 | 0 | 421 | 0 | 69,1 |
| Juin | 421 | 69 | -13 | 56 | 375 | 270 | 105 | -10,7 | 45,1 | 0 | 105 | 0 | 45,1 |
| Juil. | 105 | 45 | -10 | 35 | 15 | 0 | 15 | 0 | 35,5 | 791 424 | 12 959 | 778 480 | 325,0 |
| Août | 12 959 | 325 | -2 | 323 | 12 775 | 0 | 12 775 | 0 | 322,7 | 2 477 597 | 12 959 | 2 477 413 | 325,0 |
| Sep. | 12 959 | 325 | -4 | 322 | 12 680 | 0 | 12 680 | 0 | 321,5 | 2 998 508 | 12 959 | 2 998 229 | 325,0 |
| Oct. | 12 959 | 325 | -22 | 303 | 11 232 | 0 | 11 232 | 0 | 302,7 | 1 879 669 | 12 959 | 1 877 942 | 325,0 |
| Nov. | 12 959 | 325 | -32 | 293 | 10 527 | 0 | 10 527 | 0 | 293,1 | 78 739 | 12 959 | 76 308 | 325,0 |
| Total | | - 270 | | | 3 267 | | | - 79,3 | | 8 225 936 | | | 8 208 372 |

Afin de raisonner en termes de volumes d'eau, nous allons exprimer en m³, les termes du bilan qui ne le sont pas. Ainsi, pour un mois considéré ;

$$V_{\text{Précipité}} = P^*(V_{\text{initial}} - V')/\Delta H_1 \quad ; \quad V_{\text{Evaporé}} = Ev^*(V_{\text{initial}} - V')/\Delta H_1 \quad ; \quad V_{\text{Inf}} = Inf^*(V_{\text{initial}} - V')/\Delta H_1$$

Tableau 65 : bilan d'eau moyen annuel de la retenue de Guessou-Sud (en bleu : flux entrants ; en rouge : flux sortants)

| Paramètres | V _{initial} | V _{Précipité} | V _{Entré} | V _{Evaporé} | V _{Infiltré} | V _{Prélevé} | V _{sorti} | V _{final} | ΔV |
|--------------|----------------------|------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------|
| Déc. | 12 959 | 15 | 0 | 1 225 | 1 301 | 279 | 0 | 10 169 | -2 790 |
| Jan. | 10 169 | 12 | 0 | 1 000 | 1 024 | 558 | 0 | 7 600 | -2 569 |
| Fév. | 7 600 | 20 | 0 | 945 | 792 | 504 | 0 | 5 380 | -2 220 |
| Mars | 5 380 | 98 | 0 | 997 | 797 | 558 | 0 | 3 126 | -2 254 |
| Avril | 3 126 | 238 | 0 | 715 | 614 | 540 | 0 | 1 495 | -1 631 |
| Mai | 1 495 | 307 | 0 | 410 | 413 | 558 | 0 | 421 | -1 075 |
| Juin | 421 | 58 | 0 | 46 | 57 | 270 | 0 | 105 | -316 |
| Juil. | 105 | 190 | 791 424 | 119 | 160 | 0 | 778 480 | 12 959 | 12 854 |
| Août | 12 959 | 1 971 | 2 477 597 | 790 | 1 365 | 0 | 2 477 413 | 12 959 | 0 |
| Sep. | 12 959 | 1 897 | 2 998 508 | 861 | 1 315 | 0 | 2 998 229 | 12 959 | 0 |
| Oct. | 12 959 | 705 | 1 879 669 | 1 107 | 1 324 | 0 | 1 877 942 | 12 959 | 0 |
| Nov. | 12 959 | 38 | 78 739 | 1 212 | 1 258 | 0 | 76 308 | 12 959 | 0 |
| TOTAL | - | 5 548 | 8 225 936 | 9 427 | 10 418 | 3 267 | 8 208 372 | - | 0 |

CONCLUSION DU CHAPITRE 5

Malgré le manque crucial de données sur le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud, et malgré la confirmation d'une variabilité pluviométrique interannuelle marquée (indice pluviométrique), l'ensemble des études et travaux révèle que ce bassin versant présente de bonnes caractéristiques pour l'écoulement. Les précipitations relativement abondantes dans la zone, alimentent et activent les processus hydrologiques dans le bassin. Les plus importants sont l'évapotranspiration (61 %) et l'écoulement (38 %). Ce dernier, à l'origine des cours d'eau saisonniers rencontrés dans la zone d'étude, représente l'ensemble des ressources renouvelables en eau de surface susceptibles d'être mobilisées au sein d'ouvrages de rétention/stockage. De plus, le site de la retenue quant à lui, de par sa localisation, sa géomorphologie et son mode d'alimentation, s'avère propice pour le stockage d'une partie de ces eaux qui s'écoulent. Actuellement, les quantités d'eau qu'elle parvient à stocker, aussi infimes soient-elles par rapport aux quantités disponibles, s'avèrent précieuses pour les utilisations traditionnelles dans cette région marquée par une intense saison sèche. En effet, la cuvette de la retenue de Guessou-Sud, de capacité de stockage limitée, transfère au réseau aval 99,8 % des eaux qu'elle reçoit ; en ce sens, elle ne représente qu'un site de transit. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les ressources en eau ne pourraient constituer un facteur limitant pour le développement du Bénin à court et moyen termes est donc vérifiée, à l'échelle très locale du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud. L'un des objectifs, sinon l'objectif majeur du projet REGIA est la diversification des activités dans le pourtour de la retenue de Guessou-Sud. Le challenge actuel réside sur les mécanismes et processus concrets de mobilisation judicieuse d'une proportion de ces eaux renouvelables (abondantes pendant la saison pluvieuse) au sein de la cuvette de ladite retenue afin de subvenir aux besoins futurs pendant la saison sèche quand elles sont rares. Et de cette façon, pourraient être saisies les opportunités sous-jacentes de ce type d'ouvrage, exprimées en termes de (i) Contribution à l'autosuffisance alimentaire, (ii) soustraction aux caprices météorologiques et maintien de la sécurité régionale, (iii) pratique constante des activités agro-pastorales et piscicoles en harmonie, et (iv) édification d'une société prospère par l'amélioration des conditions de vie et d'existence des populations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)

- [110] **FAO, 2003.** Training course on hill ponds. FAO-PLAN VERT, annexe 3. Canevas pour le dimensionnement et études des retenues collinaires. 17 p.
- [111] **GRAY et WIGHAM.** Etude générale du ruissellement et de la précipitation. Chapitre VII, 27 p. Disponible sur http://www.hydrologie.org/BIB/Gray/GRAY_007.pdf. Consulté le 02/02/2014.
- [112] **KAMAGATE B., 2006.** Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de régime tropical de socle au Bénin : bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé). Thèse de doctorat, Université de Montpellier II. 320 p.
- [113] **KRIMIL F., 2009.** Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum El Gherza. Mémoire de master en hydraulique, Université Colonel El Hadj Lakhdar de Batna. 130 p.
- [114] **LAYAN et al., 2011.** Détermination des crues de projet par les aspects du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue au niveau de la commune Ain Boukellal, bassin versant de l'Oued Larbaa, Maroc. Article, European Scientific Journal, December Edition, vol.8, N°29, pp 209-220.
- [115] **ORSTOM, 1992.** Evaporation des nappes d'eau libres en Afrique sahélienne et tropicale.
- [116] **République du Bénin (MMEE), 2008.** Atlas hydrographique du Bénin. Un système d'information sur l'hydrographie. DGE, 22p.
- [117] **ROCHE M., 1963.** Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris, France. 125 p.
- [118] **SERVAL et al., 1999.** De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. Article, Revue des Sciences de l'Eau 12/2(1999). Pp 363-387.
- [119] **SIRCOULON J., 1964.** Etude hydrologique des bassins versants du Tiapalou et du Dodou (Dahomey). Tome I. Bassin versant du Tiapalou. ORSTOM, 210 p.
- [120] **SOGREAH PRAUD, 1996.** Plan de prévention des risques d'inondation. Bassin de risques de la Cesse. Agence de Toulouse, 55 p.
- [121] **WELLENS et al., 2010.** Elaboration du bilan d'eau du bassin versant du Kou et analyse critique des principaux composants. Article, 9 p. Disponible sur http://www.ge-eau.org/Documents/bilan-eau_Kou.pdf. Consulté le 03/02/2014.

CHAPITRE 6

DIMENSIONNEMENT ET PROPOSITION D'UN PLAN DE GESTION DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

*Dans un environnement qui change, il n'y a pas de plus grand risque que de
rester immobile...*

Jacques CHIRAC

CHAPITRE 6 : DIMENSIONNEMENT ET PROPOSITION D'UN PLAN DE GESTION DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

6.1. DIMENSIONNEMENT DE LA CUVETTE DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

6.1.1. Hypothèses de dimensionnement

Le dimensionnement de la retenue de Guessou-Sud, sera fait sur des hypothèses portant sur (i) l'année hydrologique, (ii) les besoins en eau et sur (iii) la géométrie de la cuvette.

L'année hydrologique : Nous choisissons comme référence une année hydrologique quinquennale sèche (une sécheresse qui reviendrait tous les 5 ans) ; du fait de l'occurrence de plus en plus rapprochée d'épisodes de sécheresse.

Les besoins en eau pour cette année quinquennale seront estimés par la suite et pour la *géométrie de la cuvette*, nous opterons, lors du dimensionnement, pour une forme qui maximiserait la hauteur du plan d'eau, tout en minimisant le volume délimité.

Nous nous mettons ainsi dans les conditions les plus défavorables pour le dimensionnement afin de parvenir à subvenir aisément aux besoins en eau en temps réel.

a) Caractérisation hydrologique de l'année quinquennale sèche

➤ Pluviométrie

Des données climatiques des années 1960 à 2008 dont nous disposons, nous avons pu classer les années hydrologiques, à l'aide de l'indice pluviométrique (I), en années excédentaires ou humides ($I > 0$) et en années déficitaires ou sèches ($I < 0$). Pour rappel,

$$I_i = (X_i - X) / \sigma$$

X_i : la pluviométrie de l'année i (mm) ; X : la pluviométrie moyenne annuelle sur la période de référence (mm) et σ : l'écart type de cette moyenne annuelle (mm).

Nous obtenons 22 années hydrologiques sèches que nous classons afin de calculer leurs fréquences expérimentales de non dépassement, par la formule de HAZEN suivante :

$$F(X_i) = (i - 0,5)/N$$

Où, i : rang occupé par l'année hydrologique (X_i) ; N : nombre d'observations = 22

La relation fréquences-pluies est mieux approchée par la fonction polynomiale de second ordre dont l'équation est la suivante :

$$P(\text{mm}) = - 255,84 F^2 + 537,91 F + 842,8 \quad (R^2 = 0,9614)$$

De cette équation, nous avons pu calculer la pluviométrie pour des fréquences expérimentales choisies. Ainsi, pour une sécheresse qui reviendrait tous les 5 ans, nous avons un total pluviométrique estimé à 940 mm.

$$P_{\text{SECHE.5ans}} = 940 \text{ mm}$$

Tableau 66 : fréquences des minima pluviométriques annuels

| | | | | | |
|-------------------------|------|------------|-----|-----|-----|
| Fréquence (%) | 50 | 20 | 10 | 2 | 1 |
| Période de retour (ans) | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
| P (mm/an) | 1048 | 940 | 894 | 853 | 848 |

Par interpolation linéaire, nous avons estimé la pluviométrie mensuelle pour cette année quinquennale sèche en fonction des pluviométries mensuelles des années hydrologiques qui lui sont le plus proches. Les années concernées sont donc 1970 avec une pluviométrie de 933 mm et 1984 avec une pluviométrie de 960 mm. Cette approche suppose une relation linéaire entre les valeurs ; ainsi, pour un mois donné, la valeur de la pluviométrie recherchée (X) est obtenue, connaissant les valeurs pour les années 1970 (X_a) et 1984 (X_b) de la manière suivante :

$$\left[\begin{array}{l} X_a < X < X_b \\ 933 \text{ mm} < 940 \text{ mm} < 960 \text{ mm} \end{array} \right] \begin{array}{l} \Rightarrow [(X-X_a)/(X_b-X_a)] = [(940-933)/(960-933)] \\ \Rightarrow X = X_a + (7/17)*(X_b - X_a) \end{array}$$

Tableau 67 : pluviométrie mensuelle pour l'année quinquennale sèche (mm)

| Année | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Total |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|----------|------------|
| 1970 | 0 | 0 | 15 | 62 | 135 | 99 | 144 | 258 | 190 | 30 | 0 | 0 | 933 |
| P_{SECHE.5ans} | 0 | 0 | 21 | 57 | 146 | 118 | 143 | 210 | 202 | 43 | 0 | 0 | 940 |
| 1984 | 0 | 0 | 34 | 44 | 174 | 168 | 140 | 88 | 235 | 79 | 0 | 0 | 960 |

➤ Bilan d'eau du bassin versant de la retenue pour l'année quinquennale sèche

L'établissement du bilan d'eau du bassin versant pour une sécheresse qui reviendrait tous les 5 ans est nécessaire afin d'estimer la ressource potentiellement mobilisable au sein de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud.

Connaissant déjà l'ETP et la valeur de la recharge annuelle de la nappe ΔR_S (chapitre 5) et ayant fixé la pluviométrie, estimons dès à présent les autres termes du bilan d'eau.

- **L'évapotranspiration réelle**

En appliquant la méthode de Thornthwaite, nous obtenons :

$$ETR_{SECHE.5ans} = 648 \text{ mm}$$

Le déficit hydrique est plus important dans ce cas : seulement 63 % de l'ETP sont assurés.

Tableau 68 : ETR mensuelles pour une année quinquennale sèche dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud

| MOIS | Mai | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | Total |
|-------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| $P_{\text{SECHE.5ans}}$ | 146 | 118 | 143 | 210 | 202 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 57 | 940 |
| ETP | 107 | 89 | 80 | 76 | 75 | 84 | 74 | 66 | 69 | 83 | 113 | 116 | 1032 |
| ΔR_u | +39 | +29 | +32 | 0 | 0 | -41 | -59 | - | - | - | - | - | |
| R_u | 39 | 68 | 100 | 100 | 100 | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Def. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 66 | 69 | 83 | 92 | 59 | 384 |
| Exc. | 0 | 0 | 31 | 134 | 127 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 292 |
| ETR | 107 | 89 | 80 | 76 | 75 | 84 | 59 | 0 | 0 | 0 | 21 | 57 | 648 |

- **Le ruissellement**

Le taux de ruissellement moyen C_{RM} du bassin versant étant estimé à 0,142 (chapitre 5) ;

$$R_{\text{SECHE.5ans}} = C_{RM} * P_{\text{SECHE.5ans}} = 0,142 * 940 \text{ mm} = \mathbf{133,5 \text{ mm}}$$

- **L'infiltration**

La valeur de la lame d'eau susceptible de s'infiltrer dans ce cas est déduite des autres termes du bilan. Donc,

$$\begin{aligned} \text{Inf}_{\text{SECHE.5ans}} &= P_{\text{SECHE.5ans}} - \text{ETR}_{\text{SECHE.5ans}} - R_{\text{SECHE.5ans}} - \Delta R_S \\ &= \mathbf{940 \text{ mm}} - \mathbf{648 \text{ mm}} - \mathbf{133,5 \text{ mm}} - \mathbf{12 \text{ mm}} \\ &= \mathbf{146,5 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Pour une année quinquennale sèche, les précipitations reçues par le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud se répartissent comme suit :

- 69 % retournent dans l'atmosphère (ETR) ;
- 16 % s'infiltrent avant de s'écouler vers la cuvette de la retenue (Inf) ;
- 14 % ruissellent directement à la surface du sol en direction de la cuvette (R) ;
- 1 % participe à la recharge de la nappe (ΔR_S).

$$\mathbf{940 \text{ mm}} = \mathbf{648 \text{ mm}} + \mathbf{146,5 \text{ mm}} + \mathbf{133,5 \text{ mm}} + \mathbf{12 \text{ mm}}$$

La lame d'eau susceptible d'atteindre la cuvette de la retenue de Guessou-Sud est estimée à 280 mm ($R_{\text{SECHE.5ans}} + \text{Inf}_{\text{SECHE.5ans}}$) ; soit une proportion de 30 % du total précipité. Le volume d'eau total qu'accueillera alors la cuvette dans ces conditions serait de 5 129 600 m³. L'écoulement s'établirait également au mois de Juillet mais s'interromprait plutôt (en octobre) par rapport à une année hydrologique moyenne. Par conséquent, les eaux stockées au sein de la cuvette seraient sollicitées dès la mi-novembre au lieu de la mi-décembre, en moyenne.

b) Estimation des besoins en eau pour l'année quinquennale sèche

➤ Besoins en eau de la cuvette

Ils sont relatifs aux besoins du système même des retenues, et nous considérons qu'ils seront les premiers à être satisfaits. Il s'agit de la différence ΔH_1 entre les entrées et les sorties mensuelles directes au sein de la cuvette à considérer ($\Delta H_1 > 0$) ou à satisfaire ($\Delta H_1 < 0$).

$$\Delta H_1 = P - Ev - Inf$$

P : pluies mensuelles tombées directement sur le plan d'eau (mm)

Ev : évaporation mensuelle du plan d'eau (mm)

Inf : infiltration mensuelle au fond de la cuvette (mm)

Ainsi, pour une sécheresse qui reviendrait tous les 5 ans, les besoins de la cuvette seraient :

$$B_{\text{cuvette}} = \Sigma(\Delta H_1) \approx 3 \text{ m/an}$$

Tableau 69 : besoins mensuels en eau (mm) de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour une année quinquennale sèche

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Total |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|--------------|
| P | 0 | 0 | 21 | 57 | 146 | 118 | 143 | 210 | 202 | 43 | 0 | 0 | 940 |
| Ev | 167 | 185 | 214 | 192 | 170 | 135 | 127 | 99 | 108 | 143 | 159 | 161 | 1860 |
| Inf | 171 | 155 | 171 | 165 | 171 | 165 | 171 | 171 | 165 | 171 | 165 | 171 | 2009 |
| ΔH_1 | -338 | -340 | -364 | -300 | -195 | -182 | -155 | -60 | -71 | -271 | -324 | -332 | -2932 |

➤ Besoins en eau pour l'abreuvement du bétail

La vocation première de la retenue de Guessou-Sud étant l'abreuvement du bétail en provenance des camps peuhls environnants et même des pays limitrophes, l'estimation des besoins en eau pour cet abreuvement au premier rang des besoins d'usage se justifie. La moyenne actuelle des prélèvements au sein de la cuvette pendant la période de décrue a été estimée à 18 m³/j. Si nous attribuons ces prélèvements à l'abreuvement exclusif du bétail, ils représenteraient la consommation journalière d'eau d'environ 450 bovins, sur la base de 40 l/bovin.j.

Etant donné la tendance climatique actuelle dans la sous-région sahélienne et l'attrait que peut produire l'aménagement projeté de cette retenue ; nous entrevoyons un dédoublement des troupeaux qui s'y abreuveront. Ainsi,

$$B_{\text{abreuvement}} = 36 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Besoins en eau pour le maraîchage

L'activité maraîchère envisagée autour de la retenue d'eau de Guessou-Sud est de type de contre-saison irrigué par pompage. Les cultures visées sont essentiellement légumières (amarante, tomate, piment, gombo, oignon, laitue, carotte, chou, haricot vert et aubergine) ; sur une cinquantaine de planches, à raison de 5 planches par espèce cultivée, pour une superficie totale de 1 ha.

Pour l'Afrique subtropicale, les besoins en eau de cette forme très spécialisée d'agriculture ont été approchés par plusieurs auteurs, en tenant compte par exemple de la surface à irriguer. C'est ainsi qu'en 1994, Arnaud et Gay, dans leur document intitulé « *De l'eau pour le maraîchage : expériences et procédés* », évoquent le chiffre de 90 m³/ha.j. Alvernhe, en 1997, pour le *Programme Solidarité Eau* (pS-Eau), revoit ce chiffre à la baisse et considère qu'il faut disposer de 60 à 80 m³/ha.j ; tandis que Durand, en 1999, dans son document intitulé « *Techniques des petits barrages en Afrique sahélienne et tropicale* », précise que les besoins en eau pour le maraîchage entièrement irrigué de contre-saison (novembre-avril) sont de 100 m³/ha.j, soit 15 000 m³/ha.

Nous considérons comme besoins en eau pour le périmètre irrigué projeté sur le site de Guessou-Sud, cette dernière valeur (100 m³/j). Cependant, les quantités d'eau réellement nécessaires pour les cultures sont également fonction de l'efficacité du système d'irrigation ; dans le cas étudié, c'est le système goutte-à-goutte qui est envisagé. C'est un système d'irrigation localisée permettant d'atteindre une efficacité supérieure à 90 %. [122]

Les besoins totaux en eau pour le maraîchage à Guessou-Sud seraient donc :

$$B_{\text{maraîchage}} = \text{besoin/efficacité} = (100/0,9) \text{ m}^3/\text{j} = \mathbf{111 \text{ m}^3/\text{j}}$$

➤ Besoins en eau pour la pisciculture

La pisciculture est une autre activité envisagée sur le site de Guessou-sud. Elle consistera en l'élevage du tilapia (*Oreochromis niloticus*) dans 10 étangs piscicoles de 9 m³ chacun, à raison de 3 cycles/an. Cela implique, côté ressources en eau, 3 remplissages/an. Ces étangs de 3 m de long, 2 m de large et 1,5 m de profondeur, seront remplis au 2/3 (jusque 1 m) ; donc, nécessiteraient 180 m³/an (6 m³*10 étangs*3 fois). Sachant que la retenue sera sollicitée seulement pendant la décrue, quelle que soit la répartition temporelle des remplissages des étangs, au plus 2 remplissages solliciteraient les eaux stockées dans la cuvette ; donc, 120 m³. Nous considérons de façon fortuite que les remplissages auront lieu au début des mois de novembre, mars et de juillet.

Puisqu'un étang piscicole est un système assimilable à une retenue d'eau, nous devons tenir compte, d'une part, des pertes par infiltration (Inf) et par évaporation (Ev) ; et d'autre part, des apports pluviométriques (P) en son sein. Pour cela, la différence $\Delta H_1'$ (P - Ev - Inf) entre les entrées et les sorties intrinsèques du système pour une période déterminée devrait donner les quantités d'eau supplémentaires (si $\Delta H_1' < 0$ m) à apporter au système afin de garantir un certain équilibre. Les précipitations reçues et l'évaporation des étangs piscicoles sont considérées égales à celles de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud ; mais leur infiltration (3 mm/j) est considérée comme étant la moitié de celle de la cuvette, du fait du cimentage du fond et des parois de ces étangs. Ainsi, les besoins pour la pisciculture seraient;

$$B_{\text{pisciculture}} = 60*(1 + \Delta H_1') \text{ m}^3/\text{mois} \text{ (novembre et mars)}$$

$$B_{\text{pisciculture}} = 60*\Delta H_1' \text{ m}^3/\text{mois} \text{ (les autres mois)}$$

Lorsqu'ils sont vidés, les eaux des bassins piscicoles peuvent être ajoutées aux eaux pour l'irrigation car elles sont riches en NH₄, à conditions qu'on n'utilise pas d'antibiotiques.

Tableau 70 : récapitulatif des besoins externes (prélèvements P_0) à satisfaire par la retenue de Guessou-Sud, pour l'année quinquennale sèche

| Besoins | $B_{\text{abreuvement}}$ | $B_{\text{maraîchage}}$ | $B_{\text{pisciculture}}$ | | Total |
|--------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------|----------------|
| Unités | (m^3) | | $\Delta H_1'$ (mm) | (m^3) | |
| Novembre | 540 | 0 | -249 | 61,5 | 601,5 |
| Décembre | 1 116 | 3 441 | -254 | 1,5 | 4 558,5 |
| Janvier | 1 116 | 3 441 | -260 | 1,6 | 4 558,6 |
| Février | 1 008 | 3 108 | -269 | 1,6 | 4 117,6 |
| Mars | 1 116 | 3 441 | -286 | 61,7 | 4 618,7 |
| Avril | 1 080 | 3 330 | -225 | 1,4 | 4 411,4 |
| Mai | 1 116 | 0 | -117 | 0,7 | 1 116,7 |
| Juin | 540 | 0 | -107 | 0 | 540,0 |
| Juillet | 0 | 0 | -77 | 0 | 0 |
| Août | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 |
| Septembre | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Octobre | 0 | 0 | -193 | 0 | 0 |
| Total | 7 632 | 16 761 | -2 015 | 130 | 24 523 |

➤ Besoin écologique

Aux besoins ci-avant énumérés, il convient d'ajouter un **besoin écologique** car la retenue de Guessou-Sud constitue un écosystème à part entière. Le site de la retenue constitue une zone humide offrant à l'échelle du paysage des habitats riches et diversifiés en espèces animales et végétales. Il sert à la fois d'habitat, de lieu de reproduction, d'alimentation et même de refuge pour certaines espèces. Afin de maintenir un certain équilibre agri-écologique en rapport avec l'importance, la productivité, les richesses de ce type de milieu et la multitude des services rendus ; nous estimons que la cuvette devrait toujours conserver un niveau minimal (V_0) dont nous fixons la côte ici au quart de la côte maximale (H_{max}) de la cuvette.

L'ensemble des besoins à satisfaire par la retenue, au courant d'une année hydrologique sèche qui reviendrait tous les 5 ans, serait ;

$$B = V_0 + V_1 + 24\,523 \text{ m}^3$$

Avec, $V_0 = f(H_{\text{max}}/4)$ et $V_1 = f(\Delta H_1)$. La quantification de ces volumes, à un moment déterminé, est étroitement liée aux caractéristiques géométriques de la cuvette de la retenue et/ou au volume d'eau contenu.

c) *Géométrie de la cuvette*

En accord avec la forme originelle de la retenue, nous fixons comme base commune à toutes les formes géométriques potentielles de la cuvette, le quadrilatère que dessine son pourtour dans les conditions optimales ; à savoir un carré dont le côté (a) aurait 100 m, soit une surface maximale du plan d'eau de 1 ha : $S_{\text{max}} = 10\,000 \text{ m}^2$

De cette base, il nous faudrait trouver la profondeur maximale de la cuvette (H_{\max}) qui nous donnerait le volume minimal requis ; sachant que toute autre forme géométrique qu'aurait la cuvette, pour cette même valeur de H_{\max} , entrainerait une augmentation de sa capacité de stockage. Dans ces conditions, le volume minimal (V_{\min}) serait donc fourni par une pyramide ou cône (A) et le volume maximal (V_{\max}) de la cuvette serait fourni par un pavé droit (B).

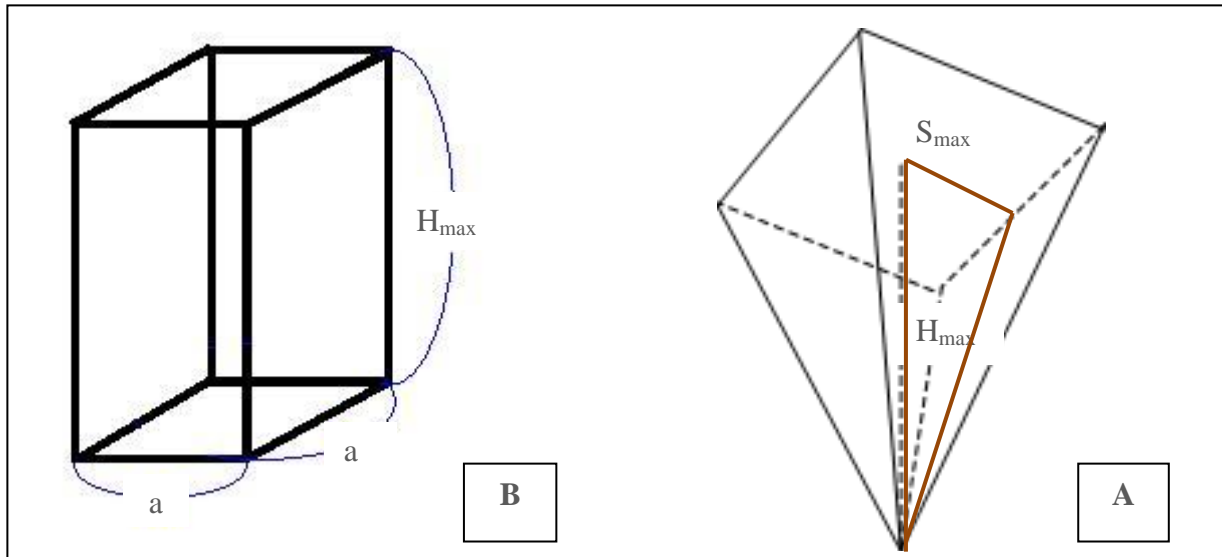


Figure 44 : formes géométriques extrêmes potentielles de la cuvette

La cuvette de la retenue de Guessou-Sud, pour son dimensionnement, sera assimilée à un cône dont la base fait 1 ha ; pour la satisfaction des besoins totaux estimés à ($V_0 + V_1 + 24\ 523\ m^3$), sachant qu'elle recevrait annuellement $5\ 129\ 600\ m^3$ de son bassin versant aval.

6.1.2. Dimensionnement de la cuvette

Assimilée à un cône dont la base carrée aurait pour côté 100 m, la cuvette de la retenue aurait pour volume (V), la valeur obtenue par la formule suivante : $V = 1/3 * S * H$.

L'ensemble des hypothèses formulées pour le dimensionnement de la cuvette a été représenté par la figure 45.

Les relations suivantes ont été dégagées :

- $a'/50 = 1/4 H/H \implies a' = 50/4 = 12,5\ m$
- $a''/50 = (H-3)/H \implies a'' = (50H - 150)/H$

L'expression des volumes délimités suit :

➤ $V_0 = 1/3 * S_0 * H_0$

Où : $S_0 = (2a')^2$ et $H_0 = 1/4 H$

Donc ; $V_0 = 1/12 * 25^2 * H = 52,08 H$

➤ $V' = V_0 + 24\ 523 = 1/3 * S'' * H''$

Où : $S'' = (2a'')^2$ et $H'' = H - 3$

Donc ; $52,08H + 24\,523 = 1/3 * [(100H - 300)/H]^2 * (H - 3)$

Le développement de cette égalité aboutit à une équation du 3^{ème} degré :

$$9843,76H^3 - 163\,569H^2 + 270\,000H - 270\,000 = 0 \quad (E)$$

La résolution de cette équation s'est faite par la procédure suivante :

- La fonction $f(H)$ a été considérée,

$$f(H) = 9843,76H^3 - 163\,569H^2 + 270\,000H - 270\,000$$

| H (m) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| $f(H)$ (m ³) | -3989804 | -3573919 | -2776420 | -1538247 | 199665 | 2496377 | 5410952 |

- Les résultats obtenus pour quelques valeurs de H sont présentés sous forme d'un nuage de points. Les axes x et y du graphique sont $f(H)$ et H , respectivement.
- Nous avons dès lors cherché le meilleur ajustement des résultats afin de déterminer la valeur de H pour laquelle la fonction $f(H)$ s'annulerait.
- Les résultats ont été mieux approchés par une fonction polynomiale liant 4 des points représentés. Ainsi, pour $f(H) = 0$, $H = 14,899$ m.

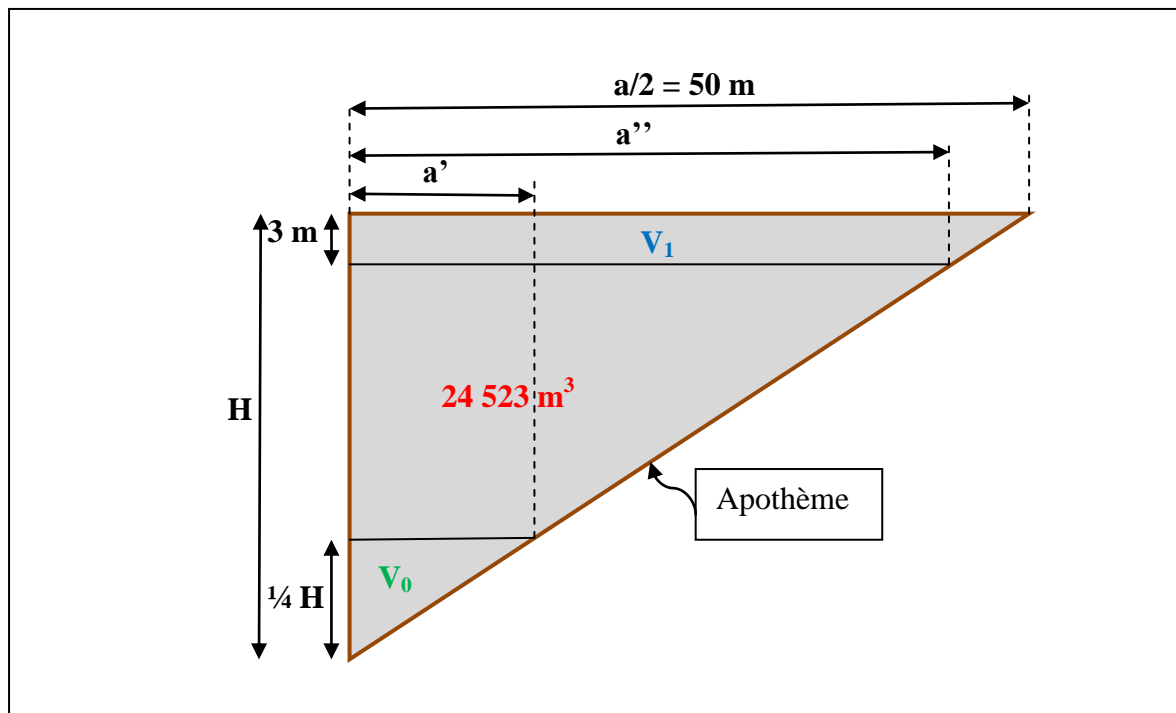


Figure 45 : présentation schématique des hypothèses de dimensionnement de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

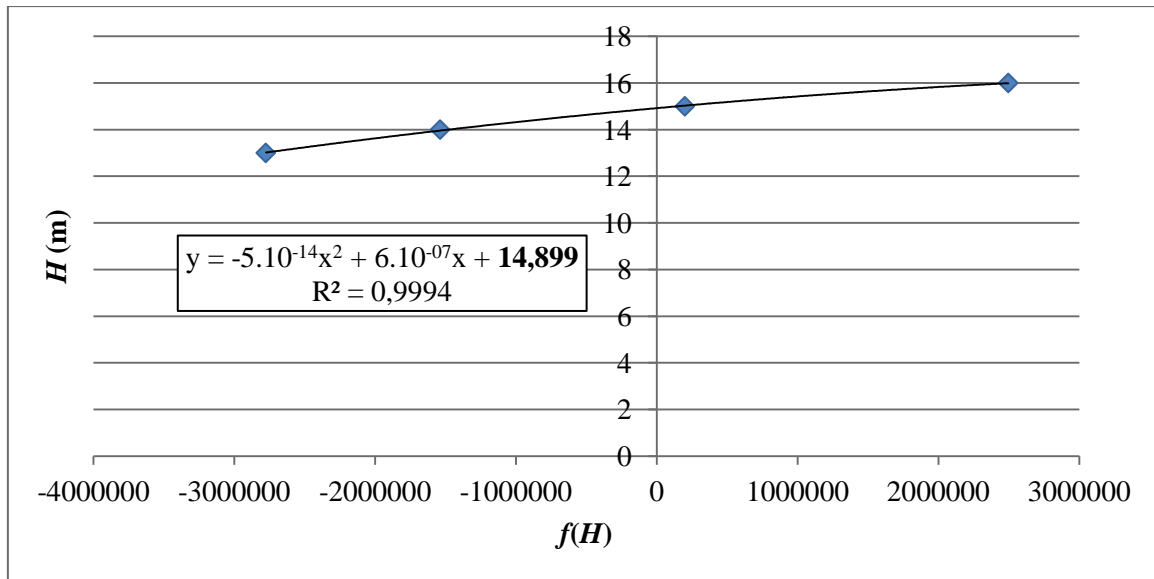


Figure 46 : fonction polynomiale optimale de la fonction $H = f[f(H)]$

De cette approximation, nous avons vérifié si l'équation (E) y trouvait sa solution ; ce qui a été le cas. La valeur réelle de H étant de 14,899127 m.

Donc ;

$$V = 1/3 * S * H = 1/3 * 10\,000 \text{ m}^2 * 14,899 \text{ m} = \mathbf{49\,630 \text{ m}^3}$$

$$V_0 = 1/12 * 25^2 * H = 52,08 \text{ m}^2 * 14,899 \text{ m} = \mathbf{776 \text{ m}^3}$$

$$V' = 1/3 * [(100H - 300)/H]^2 * (H - 3) = 1/3 * [(1489,9)/14,899]^2 * (11,899) = \mathbf{25\,299 \text{ m}^3}$$

Cette valeur vérifie l'égalité $V_0 + \mathbf{24\,523} = V'$

$$V_1 = V - V_0 - 24\,523 = 49\,630 - 776 - 24\,523 = \mathbf{24\,331 \text{ m}^3}$$

La hiérarchisation dans la satisfaction des besoins associés au projet REGIA sur le site de Guessou-Sud que nous avons considérée pour le dimensionnement de la cuvette (figure 45), maximise le volume minimal nécessaire. Nous proposons comme valeur à retenir pour ce volume minimal $40\,000 \text{ m}^3$; valeur à valider à l'aide du bilan hydrique. La côte des eaux dans la cuvette serait alors de 12 m pour une cuvette conique.

$$\mathbf{H = 12 \text{ m}} \text{ et } \mathbf{V_{\min} = 40\,000 \text{ m}^3}$$

Il s'agira de tripler la capacité de stockage actuelle de la cuvette. La géométrie définitive de la cuvette est laissée au choix des concepteurs et des aménageurs de l'ouvrage ; l'idéal serait de minimiser le volume de terre à déplacer, en endiguant le côté aval de la cuvette avec les terres issues du surcreusement amont de la cuvette, éventuellement.

6.1.3. Bilan hydrique de la retenue pour l'année quinquennale sèche

a) Remplissage de la cuvette

Le bilan hydrique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud, établi pour l'année quinquennale sèche, confirme également que la ressource en eau n'est pas un facteur limitant pour le développement de Guessou-Sud à court et moyen termes. En effet, la ressource d'eau superficielle mobilisable pour l'année quinquennale sèche est estimée à 5 129 600 m³; la cuvette ne retiendrait qu'une proportion infime (moins de 1 %) de cette ressource.

Ce bilan d'eau laisse entrevoir l'apparition des premiers écoulements en juillet tout comme lors d'une année hydrologique moyenne (Exc. > 0). Si nous considérons également que les flux d'eau parvenant à la cuvette le mois i (Vi) sont constitués des eaux de ruissellement de ce mois i et des eaux d'infiltration du mois (i-1); alors, la cuvette se remplirait complètement durant le mois de juillet.

$$V_i = [R_i + \text{Inf}_{(i-1)}] * S$$

Vi : volume total écoulé au mois i (m³); S : surface du bassin versant = 18,32 km²

R_i : lame d'eau ruisselée au mois i (mm) = Exc_i * K_R

Où K_R = lame annuelle ruisselée/Exc. annuel = 133,5 mm/292 mm = 0,46

Inf_(i-1) : lame d'eau infiltrée au mois i-1 (mm) = Exc_(i-1) * K_{Inf}

Où K_{Inf} = lame annuelle infiltrée/Exc. annuel = 146,5 mm/292 mm = 0,50

Tableau 71 : volumes mensuels d'eau entrant dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche

| Mois | Excédent (mm) | Infiltration (m ³) | Ruissellement (m ³) | Volume entrant (m ³) |
|-----------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Juin | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Juillet | 31 | 284925 | 259653 | 259653 |
| Août | 134 | 1231613 | 1122371 | 1407297 |
| Septembre | 127 | 1167275 | 1063740 | 2295353 |
| Octobre | 0 | 0 | 0 | 1167275 |
| Novembre | 0 | 0 | 0 | 0 |

b) Etablissement des nouvelles courbes Hauteur-Volume-Surface

La cuvette de la retenue est toujours assimilée à un cône dont la base carrée aurait pour côté (a). La valeur de (a) à un moment donné est liée à la hauteur du plan d'eau par la formule suivante : $a = 25H/3$

Les courbes H-V-S permettant d'estimer l'un des termes connaissant un autre ont pu être établies. Ainsi,

$$V = 1/3 a^2 H = 2.10^{-5} H^3 ; H = 35,088V^{0,3333} ; S = a^2 = 0,0069H^2$$

Pour toutes ces équations, R² = 1.

Tableau 72 : valeurs des paramètres considérées pour l'établissement des courbes H-V-S

| H (cm) | a (m) | S (m ²) | V (m ³) |
|--------|-------|---------------------|---------------------|
| 100 | 4 | 69 | 23 |
| 200 | 8 | 278 | 185 |
| 300 | 13 | 625 | 625 |
| 400 | 17 | 1111 | 1481 |
| 500 | 21 | 1736 | 2894 |
| 600 | 25 | 2500 | 5000 |
| 700 | 29 | 3403 | 7940 |
| 800 | 33 | 4444 | 11852 |
| 900 | 38 | 5625 | 16875 |
| 1000 | 42 | 6944 | 23148 |
| 1100 | 46 | 8403 | 30810 |
| 1200 | 50 | 10000 | 40000 |

c) Etablissement du bilan hydrique de la cuvette pour l'année quinquennale sèche

Cette étape est importante pour nous permettre de vérifier que les besoins estimés et associés au projet REGIA à Guessou-Sud seront satisfaits, pour une année quinquennale sèche ; au quel cas la satisfaction des besoins sur le moyen terme pourrait être pérenne, à condition que le climat et les besoins ne se modifient pas.

En effet, nous avons, pour la période étudiée (1960-2008), 22 années déficitaires ; donc, des années sèches biennales en moyenne. Si les eaux stockées au sein de la cuvette parviennent à satisfaire les besoins au cours d'une sécheresse qui reviendrait tous les 5 ans, elles le feront aisément au cours d'une sécheresse qui ne reviendrait que tous les 2 ans.

Le bilan d'eau de la cuvette pour une année quinquennale sèche (tableau 73) nous conduit à remarquer que :

- Le volume minimal nécessaire retenu pour la satisfaction des besoins est justifié : 40 000 m³ d'eau stockés satisferaient tous les besoins estimés ;
- La hauteur du plan d'eau dans la cuvette permettrait de maintenir durant toute l'année un volume réservé pour le maintien de l'équilibre de l'écosystème que constitue également cette cuvette : $H > 3 \text{ m } (H_{\max}/4)$ durant toute l'année ;
- Le volume d'eau mobilisé au sein de la cuvette ne représenterait qu'une infime proportion des quantités qu'elle recevrait : seuls 0,8 % (< 1 %) des eaux parvenant à la cuvette seront retenus, le reste sera transféré au réseau hydrographique aval.

La retenue d'eau de Guessou-Sud, en plus d'être un écosystème remarquable et indispensable pour nombre d'espèces, stocke actuellement des quantités d'eau utilisées pour abreuver le bétail et pour certains usages domestiques. La présence permanente d'eau dans sa cuvette a, en quelques sortes, motivé la volonté de diversifier les activités autour de la retenue (projet REGIA). Cependant, si les eaux stockées permettent encore la satisfaction entière des besoins actuels ; cela n'est pas envisageable pour les besoins futurs associés au projet.

L'évaluation du volume nécessaire pour la satisfaction des besoins futurs, selon les hypothèses formulées sur l'année hydrologique et sur la géométrie de la cuvette, aboutit à un volume minimal requis de 40 000 m³, suggérant ainsi un triplement de la capacité actuelle de stockage de la cuvette. Puisque la ressource en eau mobilisable n'est pas un facteur limitant, l'aménagement de ladite cuvette (et du site en général) et la gestion rationnelle des eaux stockées sont donc à présent les facteurs déterminants de la concrétisation et de la pérennité des actions envisagées.

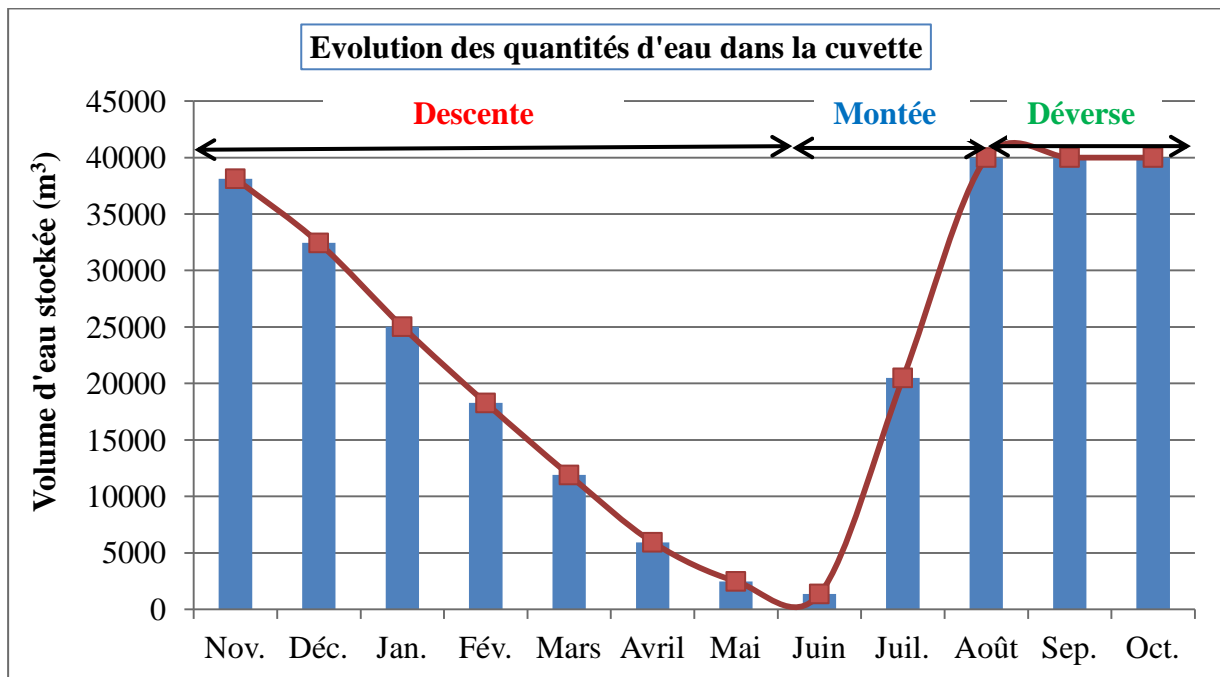


Figure 47 : évolution annuelle des quantités d'eau stockées dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche et pour $V_{initial} = 40\ 000\ m^3$

Tableau 73 : bilan d'eau de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche et pour $V_{initial} = 40\ 000\ m^3$

| Paramètres | $V_{initial}$ | H | ΔH_1 | H' | V' | Po | V'' | Vi | $V_{final \leq 40000}$ | Vo | ΔV | $H_{f \leq 1200}$ |
|--------------|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|------|-------|-------------------|------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| Formules | - | - | P-Ev-Inf | H+ ΔH_1 | f(H') | - | V'-Po | - | V''+Vi | Vi+V''-V _{final} | V _{final} - V _{initial} | f(V _{final}) |
| Unités | (m ³) | (cm) | | | (m ³) | | | (m ³) | | | | (cm) |
| Nov. | 40 000 | 1200 | -32 | 1168 | 36847 | 602 | 36245 | 0 | 36 245 | 0 | -3 755 | 1161 |
| Déc. | 36245 | 1161 | -33 | 1128 | 33188 | 4559 | 28629 | 0 | 28 629 | 0 | -7 616 | 1073 |
| Jan. | 28629 | 1073 | -34 | 1039 | 25981 | 4559 | 21423 | 0 | 21 423 | 0 | -7 207 | 974 |
| Fév. | 21423 | 974 | -34 | 940 | 19237 | 4118 | 15120 | 0 | 15 120 | 0 | -6 303 | 867 |
| Mars | 15120 | 867 | -36 | 831 | 13282 | 4619 | 8663 | 0 | 8 663 | 0 | -6 457 | 720 |
| Avril | 8663 | 720 | -30 | 690 | 7618 | 4411 | 3207 | 0 | 3 207 | 0 | -5 456 | 517 |
| Mai | 3207 | 517 | -20 | 498 | 2855 | 1117 | 1739 | 0 | 1 739 | 0 | -1 468 | 422 |
| Juin | 1739 | 422 | -18 | 404 | 1522 | 540 | 982 | 0 | 982 | 0 | -757 | 349 |
| Juil. | 982 | 349 | -16 | 333 | 856 | 0 | 856 | 259 653 | 40 000 | 220 509 | 39 018 | 1200 |
| Août | 40 000 | 1200 | -6 | 1194 | 39403 | 0 | 39403 | 1 407 297 | 40 000 | 1 406 700 | 0 | 1200 |
| Sep. | 40 000 | 1200 | -7 | 1193 | 39294 | 0 | 39294 | 2 295 353 | 40 000 | 2 294 647 | 0 | 1200 |
| Oct. | 40 000 | 1200 | -27 | 1173 | 37351 | 0 | 37351 | 1 167 275 | 40 000 | 1 164 626 | 0 | 1200 |
| Total | | - 293 | | | 24523 | | | 5 129 578 | | 5 086 482 | | |

6.2. PROPOSITION D'UN PLAN D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DE LA RETENUE DE GUESSOU-SUD

6.2.1. Proposition d'un plan d'aménagement global de la vallée

a) Objectifs d'aménagement

L'aménagement de la retenue de Guessou-Sud devrait permettre de :

- A l'échelle de la cuvette : sécuriser les conditions hydriques, garantir les divers usages et fonctions assignés aux eaux stockées ;
- A l'échelle du site : restaurer, préserver voire rehausser les potentialités et les richesses floristiques et faunistiques ;
- A l'échelle locale : faire de la retenue de Guessou-Sud un site expérimental (pilote) de mobilisation judicieuse des eaux, de valorisation optimale des ressources et de protection/conservation durable du milieu ; et susciter leur réplique sur les 10 autres retenues que compte la commune de Bembéréké.

L'atteinte du dernier objectif, avec un effet plus global, reposerait sur l'emploi et le déploiement des matériaux et moyens naturellement présents ; d'une technologie simple, peu coûteuse, appropriable et facilement replicable par les bénéficiaires. Ces derniers devraient être au centre d'un processus d'aménagement qui intègre les critères pertinents de durabilité, avec un point d'honneur sur l'appréciation écologique du site.

b) Aménagement de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

Afin d'atteindre les objectifs d'aménagement de la cuvette, il s'agira d'entreprendre sans délai :

- Le surcreusement de la cuvette afin de faire passer sa capacité de stockage d'environ 13 000 m³ à 40 000 m³, au minimum.

Il faut signaler que les dimensions de la cuvette, sa profondeur en particulier, vont dépendre de l'épaisseur réelle de la couche qui constitue actuellement son assise. Il est donc suggéré d'entreprendre des carottages afin d'avoir des éléments de réponse quant à la profondeur réellement réalisable, profondeur pour laquelle l'infiltration ($6,3 \cdot 10^{-8}$ m/s) ne sera pas accentuée ; dans le cas contraire, il y aurait lieu de renforcer l'imperméabilisation de la cuvette pour avoir un coefficient de perméabilité $K \leq 10^{-8}$ m/s, valeur recommandée dans la littérature pour les bassins de rétention/stockage dont la superficie dépasse 1000 m². Pour ce renforcement ou complément d'imperméabilisation, il y a lieu de composer avec les éléments naturels disponibles. Le dispositif économiquement avantageux consisterait à utiliser l'argile compactée comme revêtement, d'autant plus que ce matériau y est disponible. En effet, l'argile affleure sur le site ; elle est actuellement exploitée et utilisée par les femmes pour la fabrication de jarres servant à la conservation d'eau potable.

- La protection des talus latéraux, par un enherbement, contre l'érosion due à la pluie (battance) et/ou du piétinement excessif lors de son accès par les utilisateurs.

Au moins un des talus latéraux devrait avoir une pente douce, si l'accès direct des animaux à la cuvette est maintenu ; afin de permettre à ces animaux de descendre sans risque au fur et à mesure de l'épuisement de la ressource. Cependant, pour préserver la qualité des eaux, limiter la propagation des maladies du bétail et protéger les autres utilisateurs, l'accès direct à la cuvette des animaux est à proscrire. Il serait donc préférable de construire un abreuvoir en aval de la cuvette, lequel pourrait être alimenté par une canalisation.

- L'endiguement de la cuvette avec les terres excavées (si du moins leur qualité et leur quantité le permettent), afin de délimiter une zone inondable et maintenir l'humidité plus longtemps dans cette zone.

Le ceinturage de la cuvette nécessiterait également la construction des canaux d'amenée ou d'adduction d'eau dans la cuvette afin de mieux orienter les flux entrants et les rendre désormais mesurables.

- La construction d'un barrage (digue ou butte en terre transversalement à l'axe d'écoulement des eaux) afin de retenir l'eau de la cuvette.

Ce barrage en remblai à base des matériaux excavés (si du moins leur qualité et leur quantité le permettent) serait avantageux du fait de leur proximité et disponibilité immédiate, de leur homogénéité et de leurs conditions d'humidité minimales. Il s'agira donc d'empiler des couches de terres humidifiées et compactées les unes sur les autres afin de constituer un ouvrage homogène. Ce type de barrage serait le plus connu et le plus exécuté dans la région, de part leur faible coût, la simplicité de leur mise en œuvre et leur intégration ancienne dans les pratiques traditionnelles. Par ailleurs, leur faible résistance aux crues et à la surverse, bien que ne décourageant pas leur reconstruction et leur remise en état répétitives par les populations, traduit la nécessité d'assurer leur stabilité à l'aide d'une tranchée d'ancrage et d'un évacuateur de crue. Le dispositif d'évacuation du trop-plein le plus simple consisterait en un déversoir complété par un bassin de dissipation, à dimensionner dans notre cas pour pouvoir évacuer aisément la crue centennale ($Q_{100} = 17,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

c) Aménagement des alentours de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud

Il s'agira de travaux légers visant la restauration, la conservation et le rehaussement de la biodiversité ; tout en respectant le fonctionnement naturel du site et impactant positivement sur l'hydrologie et la disponibilité en eau de la cuvette.

En effet, les populations de Guessou-Sud reconnaissent un état de dégradation avancée du site, état dont ils sont responsables mais également victimes de nos jours. Le site regorgeait de plantes médicinales typiques des milieux humides, d'arbres fruitiers et des ligneux, d'espèces variées d'oiseaux, d'abondants verts pâturages et la retenue abondait en poissons ; aujourd'hui, tout cela se raréfie ou a tout simplement disparu. Ces populations déclarent également que la retenue est de plus en plus sollicitée et plus tôt dans l'année qu'avant, certainement du fait de sa facilité d'accès. Les usages de l'eau stockée se diversifieraient également, allant de l'abreuvement excessif au jardinage de proximité en passant par la fabrication des briques de terre et du Banco pour revêtir les murs des habitations, le lavage des voitures et motos, les prises d'eau pour la construction des routes, la pratique des rituels ancestraux, etc.

Cependant, ces populations n'ont montré leur volonté à s'engager à la recherche de solutions durables qu'à la présentation du concept et de la philosophie du projet REGIA.

Cet état de dégradation se traduit essentiellement sur le site par :

- Un dénuement avancé du sol et des berges certainement dû au surpâturage (troupeaux énormes et abreuvement pendant près de 7 mois de l'année), aux véhicules qui viennent de plus en plus prélever l'eau de la cuvette et à la fréquentation croissante du site par les populations riveraines à la recherche de ressources alimentaires. Ce sol ainsi dénudé par piétinement et fragilisé par son ameublissement, constitue une menace réelle pour la cuvette. En effet, les particules de sol ainsi arrachées se retrouvent petit à petit dans la cuvette sous l'effet des vents et des pluies ; entamant ainsi son ensablement, et par conséquent une perte de volume de stockage.
- Un éclaircissement du site dû à la coupe non contrôlée d'arbres (même des espèces autrefois interdites) pour la production du charbon et du bois de chauffe. Ces arbres constituaient une source d'alimentation pour les hommes et même pour les animaux pendant d'intenses sécheresses, un habitat pour les espèces animales (oiseaux, chauves-souris, écureuils, etc.) rares de nos jours, un ombrage pour le repos des pasteurs peulhs et un abri pour le bétail pendant les heures les plus chaudes de la journée. Cet éclaircissement a pour conséquence un accroissement de l'évaporation du plan d'eau, de la visibilité et de l'accessibilité de la retenue ; car, les arbres environnants constituaient un rideau végétal protégeant la retenue non seulement des sollicitations des passants, mais aussi des vents et des rayons lumineux incidents.
- Un désintérêt et une déresponsabilisation des organisations traditionnelles locales et des utilisateurs quant à l'entretien et à la bonne tenue de cet espace communautaire, où désormais la concurrence et la satisfaction des besoins individuels priment sur les questions de pérennisation des ressources (sol, eau, faune et flore). En effet, chaque usager veut profiter au maximum des ressources disponibles et réaliser le gain le plus immédiat possible. Les éleveurs peulhs sédentarisés, propriétaires légaux de la retenue, organisés en GPER (Groupements Professionnels des Eleveurs de Ruminants), reconnaissent leurs limites en matière de gestion ; mais accusent fortement le manque d'efforts encourageants de la part des autres usagers de plus en plus nombreux, hostiles et irrespectueux à leur égard. Cette conduite entretient et ravive les tensions ancestrales latentes entre les différentes communautés et accentue la dégradation générale du site.

L'aménagement du site consisterait, entre autres, en :

- La reconstitution et le renforcement du rideau végétal protecteur afin de limiter l'évaporation du plan d'eau et camoufler la cuvette.

En effet, après avoir maintenu ou complété l'imperméabilisation de la cuvette, il serait malvenu de négliger la part de l'évaporation sur la disponibilité des eaux stockées. Il s'agira de réaliser des murs végétaux, d'une part, contre la direction des vents dominants pendant la phase de décrue et les rayons incidents du soleil ; et d'autre part, contre la visibilité de la retenue depuis la route. Donc, un mur végétal contre l'Harmattan, vent desséchant qui souffle

de décembre à février dans la direction NE-SW ; un mur végétal sur le côté Est de la retenue, filtrant les premiers rayons solaires et un autre mur au Sud dissimulant la retenue et limitant son accessibilité aux véhicules lourds.

- La reconstitution et le renforcement du potentiel pastoral afin d'améliorer les ressources pour l'élevage et les conditions de travail des Peulh.

Pour solliciter efficacement et motiver la mobilisation et l'adhésion des éleveurs (majoritairement peulhs) au projet, il serait nécessaire de redonner au site la vocation première de son aménagement initial. Cela devrait passer par la réhabilitation des pâturages herbacés autour de la retenue, par la réintroduction de ligneux fourragers dans les allées de transhumance proches de la retenue et par la construction d'infrastructures d'orientation (haies épineuses, matérialisation des pistes à bétail, etc.) et d'accueil (abreuvoirs, aires de repos, etc.) des troupeaux. Ces actions permettraient également d'abaisser les tensions et les litiges entre éleveurs et maraîchers quant aux potentiels dégâts que pourraient causer le bétail sur les cultures ; et ainsi, sauvegarder les intérêts de ces bénéficiaires et instaurer un climat social plus sain dans cet espace communautaire restreint.

- L'équipement et la sécurisation du périmètre maraîcher et piscicole afin de garantir des productions (rendements) à la hauteur des efforts fournis ; lesquelles pourraient permettre d'évaluer objectivement la pertinence du projet REGIA.

Il serait judicieux de doter les futurs exploitants des planches maraîchères et des étangs piscicoles du minimum nécessaire pour vaquer sereinement aux diverses activités. En plus de l'installation du système d'arrosage goutte-à-goutte, du creusement de la compostière, de la réalisation de la clôture en barbelés ; il faudrait renforcer cette clôture contre les visiteurs indésirables, bien niveler et préparer le périmètre pour la mise en culture, assurer un ensoleillement adéquat pour la bonne croissance des cultures et le fonctionnement optimal des panneaux solaires et des étangs. Ici donc, l'éclaircissement du périmètre est recommandé et il sous-entend un défrichage, un dessouchage et un déracinement minutieux s'étendant sur une dizaine de mètres autour du périmètre ; une évacuation des grosses pierres et autres encombrants ; une destruction et/ou un bouchage des termitières, fourmilières et terriers d'animaux ; etc.

- La réalisation d'ados afin de minimiser les risques futurs d'ensablement et de comblement de la cuvette.

Compte tenu de l'avancée du désert et de la déforestation observable dans la région, il serait nécessaire de renforcer le dispositif naturel (abondantes graminées dont la pousse est accélérée par les pluies saisonnières) encore présent dans le bassin versant de la retenue par la multiplication d'obstacles freinant ainsi le ruissellement et la force érosive des écoulements superficiels. Cela reviendrait, comme proposé dans l'avant-projet REGIA, à réaliser des diguettes en terre suivant les lignes de niveau et à renforcer leur efficacité par leur enherbement en graminées ; à réhabiliter la ceinture végétale protectrice des berges à la périphérie de la retenue.

Tous ces travaux devraient concourir à la restauration du microclimat typique des milieux humides ; laquelle serait favorable non seulement à la reconstitution et à la diversification spontanées de la biodiversité, mais également à la pratique des activités projetées.

6.2.2. Proposition d'un plan de gestion quantitative des eaux

a) Objectifs et principes de la gestion quantitative des eaux stockées

A La gestion quantitative des eaux mobilisées au sein de la cuvette de Guessou-Sud reviendrait, en général, à la gestion de la demande par la définition et la mise en œuvre d'une politique d'exploitation rationnelle et de valorisation optimale des eaux stockées.

L'**objectif principal** visé est la **pérennisation de la ressource**.

Il s'agira spécifiquement de :

- Mettre sur pied un mécanisme de gestion de la ressource mise à disposition, qui se veut concertée, participative et intégrée aux spécificités locales ;
- Répertoire et légitimer l'ensemble des usagers, garantir un partage équitable de l'eau et ses bénéfices entre ces usagers ;
- Réduire les prélèvements par usage, contrôler les pertes et augmenter les performances des systèmes d'exploitation/production ;
- Evaluer et recadrer (au besoin) l'ensemble des activités en termes de progression/régression, de maintien/amélioration/diminution de la ressource en eau.

Les principes généraux qui sous-tendraient cette gestion de la demande, sans être exhaustifs, sont :

- La bonne gouvernance : ensemble de règles et procédures qui promeuvent la participation de tous les acteurs à la prise de décision au sein d'un cadre juridique où la concertation, la transparence, l'équité, la responsabilité, le respect et l'efficacité prévalent. Elle stipule que tous les acteurs doivent être impliqués et responsabilisés dans les processus d'élaboration et de mise en œuvre des actions communautaires pour une gestion équilibrée de leurs ressources.
- L'équité : elle promeut un partage juste et égalitaire de la ressource communautaire conciliant les divergences de visions, d'intérêts, d'autorités/puissances ethniques ; offrant la possibilité d'obtenir le maximum de bénéfices avec le moins de désavantages possibles envers les autres ; et, garantissant la durabilité des multiples usages et la pérennité de la ressource. Elle stipule que les usagers légitimes ont un droit d'accès et d'exploitation ; tout en étant informés de l'octroi de ce même droit aux autres, ils en jouissent dans le respect et l'application des normes qui le régissent.
- Le principe utilisateur-payeur : il vise la reconnaissance de la valeur de l'eau dans la production des biens et richesses, incite les usagers à une utilisation plus économe et efficiente de l'eau et leur transfère tant les coûts de maintenance/renouvellement des équipements que le financement d'autres interventions similaires.

Toutefois, la tarification de l'eau devrait être compatible aux spécificités des usagers et à leur capacité à s'en acquitter.

Un ensemble d'institutions, de mécanismes et de procédures devraient donc être définis, développés et mis en œuvre de façon à appliquer ces principes concourant à l'atteinte des objectifs de gestion ci-avant énumérés.

b) Modalités et mécanismes de mise en œuvre

➤ Dispositifs institutionnels

Il serait judicieux dans un premier temps de définir clairement le statut de l'ouvrage afin d'orienter son exploitation durable.

En ce sens, la retenue de Guessou-Sud (les eaux qui y sont mobilisées) peut être appréhendée comme une **ressource communautaire** ; car : i) son aménagement a été sollicité par une population locale qui, bien qu'hétérogène (Peulh/Baatonou, autochtones/étrangers/transhumants, minoritaire/majoritaire, femmes/hommes...), présente des caractéristiques communes (pauvreté, précarité, acteurs/victimes de l'état actuel des ressources,...) ; ii) son exploitation et son utilisation seront partagées entre les multiples usagers identifiés qui, bien que pratiquant des activités diversifiées (élevage, pêche, agriculture, commerce, etc.), ont tous pour facteur de production commun l'eau ; iii) son impact portera sur les préoccupations des usagers qui, bien qu'ayant des intérêts divergents, courent tous vers l'atteinte d'objectifs communs (sécurité alimentaire, amélioration des conditions de vie et d'existence, cohésion sociale, sécurité locale,...).

Ainsi, le caractère communautaire attribué à la retenue de Guessou-Sud rimerait bien, dans ce cas précis, avec une gestion communautaire se déclinant principalement en négociations/concertations permanentes, en actions et préférences collectives, en unité d'efforts et primauté de l'intérêt général. Les dispositifs institutionnels et réglementaires à mettre en place et/ou à renforcer sont : i) un droit d'accès et d'usage de la ressource, ii) des associations d'usagers, iii) des partenariats durables de ces associations d'usagers entre elles, et avec les autorités locales.

- **Droit d'accès à la ressource et conditions d'usage** : c'est une autorisation à accéder, utiliser la ressource et une obligation à respecter les règles fixant les conditions strictes de son exploitation.

La ressource appartient à un ensemble de personnes clairement identifiables (notion de citoyenneté locale). Ces ayants droit devraient se voir octroyer l'utilisation durable de la ressource afin de susciter leur adhésion totale et renforcer leur confiance dans la durabilité des services offerts. Cela permettra de lever l'épineux problème de propriété foncière car les utilisateurs légitimes (usufruitiers) consentiraient peu d'efforts durables sur des espaces qui ne leur appartiennent pas durablement. On devrait donc légitimer le caractère collectif de la ressource et déboucher, d'une part, sur une intégration concertée et adéquate des nouveaux bénéficiaires (maraîchers et pisciculteurs) aux exploitants légitimes actuels (éleveurs) ; et d'autre part, sur l'exclusion des non-membres et opportunistes qui pourraient mettre à mal la préservation de la ressource.

Chaque ayant droit est sensé jouir de ce droit sans toutefois ignorer et compromettre la capacité des autres d'en jouir. L'élaboration d'un code de gestion s'avère incontournable afin de réglementer les actions et de (ré) asseoir les bases du vivre-ensemble. Ce code reprendrait de façon précise les autorisations, les obligations et les interdictions auxquelles chaque usager est soumis. La bonne connaissance de leurs droits et obligations permettrait aux exploitants de mieux cerner les potentialités et les limites de la ressource et développerait un mécanisme de surveillance mutuelle bénéfique pour la durabilité de cette ressource.

- **Associations d'usagers** : avec en leur sein les comités de gestion, c'est l'autorité ou l'organe de gestion s'intégrant parfaitement dans le paysage culturel local actuel.

Les acteurs et bénéficiaires directs de la retenue d'eau s'organisent ou se regroupent préalablement selon leurs centres d'intérêt en des cellules sociales qui sont les lieux les plus indiqués pour l'expression des aspirations et revendications spécifiques, la consultation et l'information des membres, l'approbation et l'application des codes établis, la responsabilisation des acteurs, la formation et le renforcement des capacités des usagers. Cela permettrait d'instaurer l'équité et de lever l'impression de perte de contrôle sur les activités et sur la ressource par les populations.

Les associations d'usagers existantes (Groupements Professionnels d'Éleveurs de Ruminants, Groupements de Femmes Maraîchères, Groupements de Pisciculteurs) devraient être légalement reconnues, s'ouvrir aux nouveaux usagers, réorganiser/adapter leurs règlements internes à la nouvelle philosophie.

Les comités de gestion, mis en place par les membres desdites associations et reconnus officiellement comme organes exécutifs, serviraient d'interface entre les différentes associations d'usagers, entre ces associations et les autorités locales.

- **Partenariats durables entre les comités de gestion et les autorités locales** : c'est l'alliance multipartite d'authentification, de convergence et de coordination des pouvoirs hétérogènes, d'appui et d'accompagnement dans l'application de règles communautaires établies.

Les partenariats entre les divers groupes d'usagers sont importants car il y a lieu de confronter leurs règles et considérations, négocier et trouver des accords adaptés afin de se prémunir de la marginalisation ou de la domination d'un groupe d'usagers quelconque. Ces partenariats devraient aboutir à la création d'un organe tampon, où chaque association d'usagers est représentée. Dans le cas présent, c'est l'Association de Promotion de la REGIA (AP-REGIA) qui constitue la base institutionnelle au développement et à l'entretien de la retenue de Guessou-Sud en vue de la pérennisation des acquis.

Le chef du village et les chefs des différentes communautés, représentant l'autorité traditionnelle, sont consultés/informés (s'ils ne font déjà pas partie des comités de gestion) ; leurs opinions et approbations sont sollicitées. Ceci permettrait de clarifier le statut de la ressource, renforcer les accords établis, légitimer les actions, rapprocher et équilibrer les pouvoirs locaux.

Ces partenariats communautaires ne sauraient cerner à eux seuls tous les contours de la gestion projetée. Les autorités administratives ont leur mot à dire quand on sait que :

i) la reconnaissance officielle et la personnalité juridique des associations communautaires devraient être acquises de la part des autorités administratives afin de fonctionner dans la légalité ; ii) la propriété foncière du site de la retenue n'est pas totalement et définitivement léguée aux bénéficiaires directs, ces usufruitiers devraient en jouir de façon à le préserver durablement ; iii) la retenue est exploitée également par des transhumants étrangers face auxquels les organisations traditionnelles locales ne pourraient définir les règles d'interactions et faire respecter les codes établis ; iv) les retombées de l'exploitation de la ressource devraient contribuer au développement local à travers le prélèvement d'une taxe sur ces futures activités génératrices de revenus ; v) l'appui et l'accompagnement de la part des organes administratifs à travers ses commissions techniques sont nécessaires pour coordonner les actions et renforcer les capacités des bénéficiaires. Un accord de partenariat durable entre l'AP-REGIA et la mairie de Bembéréké est envisagé dans ce sens.

➤ Mécanismes de performances

Ils visent la limitation des prélèvements par usage pour une utilisation optimale et efficace de l'eau. L'utilisateur étant au cœur du processus, ses compétences, son implication réelle et sa volonté d'amélioration constante de ses capacités sont déterminantes pour la préservation de son facteur de production.

Les mécanismes de performances envisagés sont : i) la performance des aménagements spécifiques ; ii) l'adéquation des formations thématiques ; iii) la maîtrise des prélèvements.

- **La performance des aménagements spécifiques** : c'est la façon la plus directe de limiter les fuites et les pertes d'eau au niveau des installations que sont les étangs piscicoles, le périmètre maraîcher, les abreuvoirs et leurs canaux d'adduction d'eau.

La pisciculture a un impact mineur du point de vue quantitatif sur la ressource ($B_{\text{pisciculture}} = 130 \text{ m}^3/\text{an}$), cependant ses installations devraient limiter tout gaspillage ou perte lors de leur alimentation, du maintien du niveau d'eau nécessaire et de leur vidange.

L'abreuvement du bétail devrait être réalisé au sein d'un aménagement spécifique (abreuvoir) bien dimensionné, alimenté à la demande. Ceci permettra de limiter les pertes considérables d'eau observées lors des bains de l'entièreté des troupeaux consécutivement à leur abreuvement.

Le périmètre maraîcher devrait être parfaitement nivelé et l'ensemble des planches régulièrement entretenues afin de permettre une bonne distribution d'eau et une meilleure pénétration de l'eau lors de l'arrosage. Le système d'arrosage goutte-à-goutte, déjà le plus performant à l'heure actuelle, pourrait encore permettre des économies d'eau si l'on veille à minimiser les pertes à tous les niveaux de sa structuration.

- **L'adéquation des formations thématiques** : c'est doter l'utilisateur de capacités nécessaires pour la maîtrise de son activité et l'appropriation du projet par un transfert de technologies, de techniques et compétences appropriées. Chaque usager devrait être capable de minimiser ses prélèvements tout en améliorant sa productivité.

Il s'agira d'équiper le pisciculteur afin qu'il puisse passer de la pêche à la pisciculture, nouveau concept pour lui, avec des exigences qui nécessitent une évolution des mentalités et des techniques. Les poissons méritent désormais une attention particulière et quotidienne

(alimentation, entretien, suivi du cycle, etc.) et la productivité de son activité en est étroitement liée. L'utilisation rationnelle de l'eau à ce niveau consistera à éviter tout gaspillage lors des rajouts hebdomadaires, lors des vidanges totaux et des remplissages des étangs. La formation en technique de pisciculture moderne prévue dans le cadre du projet présent semble adéquate. Elle porterait sur la manipulation des équipements et sur la maîtrise de techniques d'empoissonnement, de reproduction, de conservation et de vente de poissons.

Les maraîchères devraient être orientées vers le choix des cultures peu consommatrices d'eau et plus rémunératrices. En outre, au terme des formations proposées dans le cadre du projet, elles devraient être capables de manipuler avec aisance les outils mis à leur disposition et, surtout, capables de maîtriser le fonctionnement du système d'arrosage goutte-à-goutte ; afin de pouvoir pratiquer une irrigation d'appoint et éviter tout gaspillage. Ceci permettrait d'intégrer sans heurt cette nouvelle activité jugée menaçante par les éleveurs peulhs.

Ces Peulh, devraient être informés sur un abreuvement rationnel basé sur la régulation de la charge en bétail au niveau de ce point d'eau et sur l'utilisation respectueuse des équipements qui leur sont dédiés.

- **La maîtrise des prélèvements** : elle sous-tend la maîtrise des systèmes de production.

Ceci passe par l'évaluation de chaque activité pour l'estimation précise des quantités d'eau utilisées pour la production et ainsi analyser les comportements des usagers quant à la l'efficacité de son activité et la préservation de la ressource. Ainsi, les volumes des prélèvements et les fréquences d'arrosages seront précisés par les maraîchères ; les travaux de maintenances et leurs motifs sur le système d'arrosage, les récoltes seront également encodés. Les pisciculteurs devraient également conserver les traces écrites des volumes rajoutés, des fréquences réelles de vidanges/remplissages et des volumes d'eau sollicités. Les éleveurs devraient fournir des informations sur la taille des troupeaux, leurs fréquences et la durée moyenne des abreuvements. Des réajustements pourraient alors survenir pour recadrer objectivement les actions (restriction/amplification de certains usages) et planifier clairement des interventions futures.

➤ Instruments financiers

Ils visent à reconnaître, à donner et à garantir une valeur économique à l'eau afin de mieux responsabiliser les usagers ; et ainsi, réguler la demande et promouvoir une utilisation minutieuse de la ressource. Parmi les instruments financiers envisageables, nous avons la tarification et l'instauration des bonus/malus.

- **Une tarification de l'eau** : c'est l'application du principe utilisateur-payeur, qui se révèle être à la fois une mesure régulatrice, incitative et dissuasive ; efficace pour une utilisation économe de l'eau.

De commun accord avec les usagers selon leurs spécificités et leurs activités, les autorités traditionnelles et administratives instaурeraient une taxe/redevance afin que l'eau soit payée. La gratuité de l'eau et le statut d'assistés seraient donc remplacés par la taxation et la responsabilisation des acteurs. Pour le cas présent, une redevance est prévue ; mais, son montant et ses modalités de paiement (forfaitaire ou au niveau individuel) restent à négocier.

Cette tarification de l'eau donnerait une valeur économique à l'eau dans le sens où elle participe largement à la production des biens et des richesses, au niveau de chaque usager pris individuellement, tout comme au niveau communautaire et local. Les emplois directs et indirects qu'elle crée ne sont pas négligeables. Une soixantaine d'emplois directs, en plus de l'activité des éleveurs peulhs, est créée et améliorerait les conditions de vie d'environ 480 personnes en plus (7,8 personnes/ménages). Les emplois indirects tels que le commerce, la petite restauration, la maintenance et le gardiennage permettraient également d'améliorer les conditions de vie d'autres ménages.

La tarification de l'eau pourrait dans ce cas précis permettre une régularisation et une maîtrise de la demande, dans le sens où le recouvrement de cette taxe accorderait et garantirait le droit d'accès et d'utilisation de la ressource aux usagers et/ou groupes d'usagers. Elle permettrait de restreindre l'exploitation de la ressource aux seuls ayants droit et dissuaderait par la même les opportunistes.

La tarification de l'eau enfin, permettrait tant un transfert souple et justifié des coûts de maintenance vers les usagers afin d'exploiter durablement la ressource, qu'une participation active des bénéficiaires au financement d'activités socioculturelles et d'aménagements du même type afin de répartir la demande sur l'ensemble des 11 retenues que compte la commune de Bembéréké.

- **L'instauration d'un système bonus/malus** : c'est un système dans lequel les prélèvements seraient réglementés (quotas ou limites par usage). Tout dépassement de cette limitation exposerait l'utilisateur ou le groupe d'utilisateurs à une sanction et tout non-dépassement vaudrait à l'utilisateur ou le groupe d'utilisateurs une récompense.

Sa mise en œuvre pourrait être efficace pour inciter les usagers à économiser l'eau dans leurs activités ; surtout dans l'usage de l'eau en agriculture (maraîchage), activité nouvelle, mais dont les besoins en eau sont énormes. Cela supposerait une surveillance régulière du site et un dispositif de quantification précise des prélèvements. La sanction/récompense serait définie et négociée au niveau de l'AP-REGIA et approuvée par les autorités locales.

La liste des modalités de gestion de la demande ne saurait être exhaustive ; cependant, pour le cas étudié, les quelques pistes évoquées permettraient d'impacter considérablement sur les comportements des usagers et par conséquent sur le partage équitable et sur l'utilisation durable de la ressource.

CONCLUSION DU CHAPITRE 6

Le site de la retenue d'eau de Guessou-Sud est une zone humide dont la dégradation est entamée par des populations locales et étrangères pauvres, marginalisées, davantage précarisées et désormais concurrentes pour des ressources (faune, flore, sols, eaux) rares mais de plus en plus précieuses. Les actions projetées devraient être les plus globales possibles afin de redonner à ce site, voire rehausser ses valeurs écologiques, socioculturelles et économiques d'antan ; et, sécuriser par la même l'objet central de cette intervention. La retenue d'eau de Guessou-Sud stocke une partie de l'eau qu'elle reçoit pendant la saison pluvieuse. Les volumes d'eau stockés actuellement permettent encore de satisfaire la demande des usagers que sont les éleveurs peulhs, principalement. Cependant, la satisfaction durable de l'ensemble des besoins qui reprennent non seulement les besoins assignés au projet REGIA (maraîchage, pisciculture et élevage), mais aussi les besoins intrinsèques de la cuvette et les besoins écologiques, demande que certaines dispositions pratiques soient prises. Parmi elles nous avons un triplement de la capacité de stockage actuelle de la cuvette, au moins ; une protection et une préservation accrues des volumes stockés (renforcement de l'imperméabilisation, protection des talus latéraux, endiguement et construction d'un barrage) pour leur utilisation ultérieure. Cette utilisation partagée reposerait sur les principes de bonne gouvernance, d'équité et d'utilisateur-payeur afin de responsabiliser les usagers quant à la pérennisation de la ressource et la réplication de cette initiative au niveau des 10 autres retenues d'eau de la commune.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (additionnelles)

- [122] **ALVERNHE J., 1997.** Conseils pour le montage de projets dans le secteur du maraîchage. PS-Eau, 40 p.
- [123] **ARNAUD L. et GAY B., 1994.** De l'eau pour le maraîchage : expériences et procédés. Editions du Gret, 124 p.
- [124] **BERTON S., 1987.** Petits ouvrages d'aménagement des bas-fonds en Afrique de l'Ouest : réussir avec quels outils ? Cahiers de la Recherche Développement. Economie et politique du développement ; Ressources en eau et leur gestion. N° 14-15, pp. 53-58.
- [125] **DURAND J-M., 1999.** Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale. Editions Quae, 415 p.
- [126] **NAPON K., 2013.** Les petits réservoirs d'eau et leurs effets sur les conditions de vie des ménages : cas de la retenue de Boura (province de la Sissili). Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou. 111 p.

PARTIE II : VOLET « EAUX »

CONCLUSION

CONCLUSION DU VOLET « EAUX »

Au terme de ce travail, du moins pour ce volet de la thèse, nous estimons que les objectifs que nous nous sommes fixés dès le départ ont été atteints dans leur globalité. Il s'est agi de :

1. Préciser les caractéristiques biophysiques et socioéconomiques de la région afin de bien contextualiser et de justifier les actions à venir :

Le département du Borgou dont fait partie la commune de Bembéréké est du domaine du climat soudano-guinéen où les précipitations, concentrées de mai à octobre, ne permettent qu'une saison de culture/an. L'agriculture et l'élevage, principales activités de la région, participent activement à l'économie du Bénin : le Borgou est le 1^{er} producteur national du coton et de l'igname et le 2^{ème} producteur national de maïs et de haricot ; avec l'Alibori, ils renferment 69 % du cheptel bovin national.

De nos jours, principalement à cause des grandes sécheresses des années 80 et de la récurrence d'épisodes de sécheresse, ces activités sont pratiquées simultanément au sein des systèmes de production mixtes, par une population issue d'un brassage ethnoculturel où Bariba et Peulh dominant, afin de diversifier leurs activités économiques domestiques. D'une part, les cultures pluviales, extrêmement sensibles aux variabilités climatiques, sont complétées de plus en plus par des cultures de contre-saison afin d'augmenter l'offre de produits frais sur le marché pendant les périodes de soudure et d'en tirer quelques profits. D'autre part, la taille des troupeaux bovins s'agrandit et déjà, on y retrouve également de petits ruminants (moutons et chèvres), afin de répondre à la demande du marché, d'augmenter le revenu des familles et de constituer d'énormes réserves.

En saison sèche, la culture irriguée et l'élevage transhumant sont les systèmes qui prévalent. Leurs points de convergence sont les bas-fonds offrant encore simultanément la terre (aires de pâture et de culture) et l'eau (pour l'abreuvement et l'irrigation). Les rares retenues d'eau connues comme celle de Guessou-Sud, sont prises d'assaut par des troupeaux venant de toutes parts et leurs pourtours sont cultivés en légumineuses, légumes et condiments : nous-mêmes témoins des tensions qui y règnent entre les divers usagers, témoins des dégâts sur les cultures et nos installations victimes de piétinements et bousculades répétés et quotidiens du bétail lors de son accès à l'eau ; la sécurisation des intérêts des divers groupes sociaux qu'entend premièrement assurer ce projet, ne pouvait encore se faire attendre.

2. Connaître le contexte géologique, topographique, géotechnique et hydrologique du sous-bassin versant concerné et de la cuvette afin d'évaluer les termes des bilans hydrologiques :

La cuvette de la retenue de Guessou-Sud est alimentée par un bassin versant peu allongé d'une superficie de 18 km². Ce dernier est situé très en amont du bassin versant de l'Ouémé, dans les zones considérées comme sources, et repose sur le socle cristallin. L'altération du Gneiss à biotite, sa roche constitutive, différencie deux principaux types de sols : les sols à sesquioxydes de fer et de manganèse à 95 % et les sols hydromorphes à pseudo-gley à 5 %. C'est une région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué où le ruissellement provient d'un mauvais drainage des horizons de surface.

Le bassin versant reçoit en moyenne 1170 mm/an de précipitations répartis comme suit : 709 mm repartent dans l'atmosphère, 12 mm participent à la recharge des aquifères discontinus et 449 mm constituent des petits cours d'eau à écoulement temporaire qui alimentent la retenue de Guessou-Sud.

La retenue de Guessou-Sud est une mare permanente située dans une incurvation bénéficiant d'une sorte d'étanchéité naturelle faite d'une couche de kaolinite mais dont l'épaisseur exacte est méconnue, pour l'instant. Elle est constituée d'une zone inondable considérable mais relativement plane et d'une cuvette dont la côte maximale est 325 cm et délimitant une surface d'environ 1 ha pour une capacité de stockage d'environ 13 000 m³. Cette cuvette représente un site de transit car elle ne stocke qu'une infime proportion des quantités d'eau qu'elle reçoit ; les termes de son bilan hydrique moyen annuel l'illustrent si bien. Les entrées : précipitations en son sein (5 548 m³) et les écoulements du bassin versant amont (8 225 936 m³) ; les sorties : les prélèvements, l'évaporation et l'infiltration en son sein (3 267 m³, 9 427 m³ et 10 418 m³ ; respectivement) et écoulement vers le réseau hydrographique aval (8 208 372 m³).

3. Caractériser l'effectivité de la variabilité pluviométrique et des états de surface à l'échelle du bassin versant et évaluer les besoins en eau au niveau du site de la retenue afin de dimensionner objectivement la cuvette :

Pour l'ensemble du bassin versant, l'analyse des données pluviométriques de la période 1960-2008 et plus précisément l'indice pluviométrique moyen a permis d'observer une concentration des années hydrologiques déficitaires sur la période 1970-2000. Au niveau de la retenue, les témoignages des personnes avoisinantes et des usagers ont permis de savoir que le site est de plus en plus fréquenté et ce, pour des périodes qui s'allongent de plus en plus. En effet, les usages et les usagers de la retenue d'eau se multiplient au fil des années et, dans l'année, la retenue est prise d'assaut de plus en plus tôt et libérée de plus en plus tard. Ceci traduit l'effectivité de la vague de sécheresse qu'a connue toute la zone sahélienne durant la période 1970-1980 et le prolongement d'une certaine instabilité climatique jusqu'à l'heure actuelle ; avec parmi leurs lots de conséquences, les changements d'affectation des sols dans l'ensemble du bassin versant et les dégradations avancées observées sur le site de la retenue.

Nous avons tenu compte de tous ces aspects et nous en sommes allés même au-delà afin de formuler des hypothèses objectives sur les paramètres de dimensionnement de la cuvette. Ainsi, pour le choix de l'année hydrologique, nous avons choisi l'année quinquennale, tout en sachant que la récurrence des épisodes de sécheresse est biennale ; pour l'estimation des besoins, nous avons multiplié par certains facteurs les besoins actuels énumérés et nous avons intégré les moins considérés et ceux à venir ; pour la forme de la cuvette, nous avons choisi un cône droit, tout en sachant qu'à hauteur égale, une autre quelconque forme de la cuvette augmenterait son volume de stockage. Un minimum de 40 000 m³ est requis pour la satisfaction de l'ensemble des besoins annuels considérés, ce qui représente moins de 1 % de la ressource disponible. Cet état des choses nous a permis de soutenir l'hypothèse selon laquelle les ressources en eau ne sauraient constituer un facteur limitant pour le développement de la région à court et moyen termes.

4. Proposer une stratégie d'harmonisation des activités à développer au pourtour de la retenue d'eau dans un souci de pérennisation de la ressource :

L'ensemble des productions (maraîchère, piscicole, fourragère, bovine et ovine) envisagées sur/via le site de la retenue de Guessou-Sud suggère la réalisation des travaux à court et moyen termes. Il s'agira concrètement, au niveau de la cuvette, faire passer sa capacité de rétention de 13 000 m³ à un minimum de 40 000 m³, de l'endiguer à l'aide des terres excavées et de protéger ses talus par un enherbement afin de sécuriser les conditions hydriques et garantir ses différents usages et fonctions ; au niveau du site, de restituer et renforcer le rideau végétal protecteur et le potentiel pastoral afin de restaurer, préserver voire rehausser ses potentialités et ses richesses floristiques et faunistiques ; et au niveau local, d'actionner la promotion et la visibilité des initiatives et processus opérationnel afin de susciter leur réplication sur les 10 autres sites que compte la commune de Bembéréké.

La pérennisation de la ressource en eau ainsi mise à disposition nécessite l'instauration d'un mécanisme de gestion concertée, participative et intégrée reposant sur les principes de bonne gouvernance, d'équité et d'utilisateur/payeur. Cela sera possible et facilité grâce à un ensemble de dispositifs institutionnels permettant de statuer sur l'ouvrage, de définir un droit d'accès et de légitimer les usagers et les cellules de gestion constitutives ; de mécanismes de performance visant une maîtrise des prélèvements, une efficacité des différents aménagements et garantissant des rendements proportionnels aux efforts fournis ; et d'instruments financiers permettant de réguler la demande et incitant à des économies de l'eau.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La protection de l'environnement : c'est un petit peu chaque jour et chaque jour un petit peu plus !

François CAVANNA

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les autorités de la commune de Bembéréké, à travers les projets de « *mise en place d'une filière de gestion des déchets solides* » et de « *Retenue d'Eau à Gestion Intégrée et Autonome sur les sites de Guessou-Sud et Pédarou* » à Bembéréké, cherchent à répondre aux aspirations profondes des populations locales exprimées en termes de développement et de mieux-être, en général. Pour cela :

- En milieu urbain, la priorité a été accordée à l'amélioration des conditions sanitaires afin d'offrir un environnement sain, tant du point de vue de l'hygiène et de la salubrité que du bien-être. En effet, par ce que le traitement des questions environnementales fait partie de la marche vers le développement durable, la gestion des déchets solides est un impératif ; surtout que, les autorités de Bembéréké ont pris connaissance de la précarité des conditions sanitaires de leur centre urbain et sont conscientes de leurs compétences dans l'offre de services urbains de base à une population de plus en plus nombreuse et active.
- En milieu rural, la priorité a été accordée à la redynamisation des secteurs économiques de base afin de, non seulement générer une prompte croissance économique à travers l'hydraulique pastorale et agricole ; mais aussi, amortir les effets d'une certaine instabilité climatique qui perdure encore dans la région et garantir des productions suffisantes. En effet, l'eau est un important enjeu dans le développement rural d'autant plus que dans ce cas, il ne s'agit pas encore de son aspect qualitatif mais, d'abord de sa quantité et de sa disponibilité pour satisfaire aux besoins substantiels d'une population pauvre, davantage fragilisée et dépendant entièrement de son milieu.

Ces deux projets portent sur des enjeux centraux (sanitaire et économique) du développement, ils sont conformes aux politiques nationales et concrétisent à l'échelle locale la stratégie nationale de développement ; ainsi, leur pertinence est prouvée.

Les travaux de la présente thèse ont été greffés sur ces projets à travers « *la caractérisation des quantités et des compositions des déchets solides émis, la connaissance des ressources en eau ; et approche technique* » ; avec comme objectif principal d'outiller les autorités de la commune de Bembéréké afin qu'elles puissent mener à bien lesdits projets. Pour cela, chacun des deux volets de ces travaux a été structuré comme suit :

- **Une revue de la littérature** dans laquelle nous présentons d'abord une photographie des situations qui prévalent, les constats faits et les diagnostics posés ; ces éléments de conceptualisation nous ont permis à notre tour de mesurer l'ampleur des problématiques et de relever les caractères urgents, légitimes et pertinents desdits projets. Par la suite, nous précisons les aspects sur lesquels nous allions nous appuyer pour contribuer à la réussite des projets, nous justifions les orientations de notre intervention à travers leurs enjeux pour les projets. Enfin, nous y présentons les résultats de l'exploration des travaux antérieurs et des méthodes utilisées pour traiter ces aspects des problèmes, nous résumons ce qui a été fait et ce qui est connu, nous

identifions les limites/frontières de l'état des connaissances et nous précisons les questions de recherche.

- **Le traitement des sujets de recherche** dans lequel nous avons d'abord circonscrit finement le domaine de la recherche, précisé les questions de recherche et délimité les espaces directement concernés. Après une brève présentation des conditions du milieu, nous avons exposé de façon détaillée l'organisation et les méthodologies de recherche mises en place pour obtenir les informations recherchées. Enfin, nous y présentons et interprétons les résultats obtenus. Nous avons réalisé un travail amont, très souvent ignoré, pourtant constituant un préalable pour objectiver toute la suite des opérations. Porté vers la caractérisation/connaissance de l'objet même de la gestion projetée (déchets solides/ressources en eau), ce travail a privilégié une approche quantitative multidisciplinaire fondée sur divers concepts et principes nous permettant d'exploiter des informations empiriques, de décrire certains processus, de mesurer ou d'exprimer des paramètres, d'actualiser certaines données, d'évaluer la qualité des données obtenues et de les interpréter.
- **La scénarisation** dans laquelle nous présentons l'essentiel des informations obtenues à l'étape précédente ; informations à partir desquelles nous avons passé en revue les possibilités/options qui s'offraient à nous pour la future gestion desdits déchets et nous avons formulé des hypothèses de dimensionnement pour la cuvette de la retenue d'eau. Nous avons débouché, d'une part, sur le choix d'une filière de gestion des déchets solides, en accord avec les politiques générales et les préférences locales ; et d'autre part, sur le dimensionnement de la cuvette de la retenue d'eau en accord avec les tendances de l'ensemble de ses composantes. Enfin, nous avons essayé d'orienter la future gestion des différentes étapes/installations/ouvrages en évoquant des éléments pertinents à prendre en compte et des mécanismes à mettre en œuvre à court et moyen termes.

Ainsi structuré, nous avons pu atteindre l'ensemble des objectifs scientifiques assignés à cette thèse, dans la perspective d'agrandir la sphère des méthodologies et du savoir. Cependant, en tant que recherche greffée à des projets réels, l'applicabilité des résultats obtenus devrait être aisée et contribuer efficacement à la résolution des problématiques évoquées. Bien qu'ils fournissent d'énormes quantités d'informations utiles pour la planification, les impacts directs de ces travaux sur les projets concernés sont limités car les principaux résultats ont été obtenus et fournis au cours de leurs phases de réalisation (juin 2010 - décembre 2011 et juin 2012 - décembre 2013, pour les déchets solides et pour les retenues d'eau, respectivement).

De l'évaluation du projet sur la gestion des déchets solides qui a été faite en début 2012 par nos soins et de l'examen de la situation du projet sur les retenues d'eau, il est important de retenir que la réalisation des deux projets a souffert des lacunes relevées dès leur conception et amplifiées par d'autres facteurs. En effet, bien que pertinents car concernant des problématiques engageant le bien-être et le développement des populations locales, faisables si on disposait au préalable de l'ensemble des informations consignées dans ce document et si on arrivait à concilier de façon optimale les contraintes et les atouts de cette commune ; les projets ont produit des effets marginaux et non durables, insuffisants (du côté des populations)

mais prometteurs (du côté des autorités communales). Lenteur dans les processus, retards dans les travaux, minimum dans la réalisation des activités prévues, maximum dans l'utilisation des finances disponibles et pénibilité dans le maintien des activités après la fin des financements extérieurs, qualifient quelques aspects de la politique de gestion mise en place.

Même si le partenariat avec la commune d'Arlon aurait pu produire des effets bénéfiques plus globaux et durables, ressentis aux niveaux les plus bas de la population, afin d'asseoir et vérifier même les bases et principes de la décentralisation, nous ne considérons pas les résultats obtenus au terme de ces projets comme des échecs car, à travers ces expériences, on a pu avoir un avancement dans le cadre des réflexions et une certaine préparation du terrain. D'éventuelles activités similaires pourraient donc bénéficier d'un coup d'accélération en capitalisant sur les présents acquis et sur les avancées enregistrées. En effet, la volonté et la stabilité politique ne défailtent point à Bembéréké ; et, disposant désormais des présents travaux de recherche et bénéficiant encore du soutien indéfectible des principaux partenaires, les autorités communales de Bembéréké souhaitent rectifier le tir et mieux saisir de potentielles opportunités pour offrir aux populations locales un service de base adéquat et une dynamique économique de qualité.

Quoique ces travaux aient été réalisés dans des contextes bien précis et leurs projets hôtes bouclés à ce jour, les préoccupations et les besoins à l'origine desdits projets existent encore. Moyennant des ajustements/adaptations contextuels, l'application des approches et démarches utilisées dans ces travaux, l'expérimentation des méthodes et la diffusion des méthodologies mises en place, l'exploitation des données obtenues et l'implémentation des scénarios élaborés, sont d'ores et déjà en cours et le seront encore ; tant les besoins sont criants dans ces domaines et les travaux de ce type encore peu réalisés dans les PED.

Pour l'avenir, nous proposons :

1. Au niveau des programmes de coopération au développement de :

- Promouvoir des programmations sectorielles pluriannuelles pas nécessairement très longues, mais celles qui, mûrement pensées et établies selon les axes de la politique nationale, parfaitement élaborées et adaptées aux spécificités locales, bien examinées et approuvées par l'ensemble des parties prenantes, permettraient, quelques années à l'avance, non seulement une bonne visibilité des stratégies à mettre en place et de leurs portées sur une période bien précise, mais aussi une meilleure définition/orientation des interventions comme la nôtre afin que leurs impacts soient directs et leurs effets maximaux. D'autant plus que, comme Bembéréké, la majorité des communes dans les PED dispose des Plans de Développement Communaux au sein desquels sont consignés les grands axes des aspirations opérationnelles à court, moyen et long termes, selon leur ordre de priorité.
- Privilégier les actions complémentaires, alliant à la fois social-économie-environnement et favorisant d'une part, l'émergence des réseaux connexes et des synergies constructives et, d'autre part, l'activation de l'entreprenariat individuel et

communautaire afin d'éviter une certaine forme de nombrilisme encore évoquée aujourd'hui. Aussi, accorder une place importante aux actions continues qui permettraient la construction progressive d'un cadre propice à l'essor du développement durable tout en veillant à la consolidation des différents maillons précédents de la chaîne ; afin d'éviter les actions isolées aux impacts très restreints et singuliers tant dans l'espace que dans le temps.

- Intégrer systématiquement au sein des programmes de partenariat, dès l'amont, la diaspora intellectuelle présente et disponible. Ces ressources humaines peuvent être qualifiées d'« *hybrides* » du fait qu'elles disposent à la fois d'une connaissance suffisante des différents territoires et systèmes administratifs/institutionnels impliqués, d'une meilleure perception des attentes et des contraintes des parties prenantes, des facultés plus aisées d'appréhender certains phénomènes récurrents et de réagir adéquatement à des imprévus. Cette pluralité constitutive acquise représente un atout puissant à mobiliser au sein de ce type d'association et constitue un pont solide reliant des réalités distinctes, cependant unies par des visions impliquant la mise en commun de leurs moyens/efforts.

2. Au niveau de Bembéréké de :

- Rassembler toutes les forces vives de la commune afin de définir des stratégies impulsant des actions susceptibles de produire un mieux-être global et une croissance économique prompte et continue. Dans la perspective d'une véritable autonomie locale, une telle politique pourrait donc s'ancrer sur la transparence et la responsabilisation des acteurs, le renforcement de la coopération et des capacités des acteurs, la valorisation des savoirs locaux et des apports/ressources exogènes utiles à l'action, l'optimisation dans la saisie des opportunités ciblées, la maîtrise des initiatives locales et l'excellence du service.
- Tout en tenant compte des besoins fondamentaux des populations, leur accorder une marge de manœuvre suffisante de manière à ce qu'elles spécifient elles-mêmes les domaines vers lesquels elles souhaiteraient voir concentrer les efforts, obtenir leur engagement et mener l'ensemble des négociations/causeries avec tous les acteurs et s'assurer de leur engagement ; afin d'éviter les désagréments dus à la passivité et au désintérêt qu'elles manifestent à l'égard des projets/initiatives déjà complètement ficelés auxquels elles devraient tout simplement adhérer et à l'égard des solutions toutes faites qu'elles seraient sensées appliquer.

3. Au niveau des problématiques concernées de :

- Poursuivre et compléter les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse via une approche qualitative permettant, d'une part, de disposer également d'éléments pertinents quant à la valorisation effective de certaines catégories et la toxicité/dangerosité d'autres catégories de déchets solides en présence afin de prendre les mesures idoines pour leur manipulation et leur traitement adéquats ; et, d'autre part, d'avoir des précisions sur certains paramètres de qualité des eaux des retenues

afin d'évaluer l'influence et les risques liés aux divers usages qu'on en fait et prendre les précautions nécessaires.

- Mettre en place des mécanismes financiers performants permettant d'instaurer les principes pollueur-payeur et utilisateur-payeur afin de financer durablement la gestion des déchets solides et de prendre en charge les frais de maintenance des ouvrages hydrauliques ; de permettre aux comités de gestion de fonctionner de façon optimale et autonome ; de constituer un fond communautaire et une épargne facilement mobilisable pour soutenir d'autres initiatives.
- Accorder une place de choix aux femmes tant dans la gestion des aspects liés à la salubrité en milieu urbain que dans la redynamisation agricole en milieu rural. Du fait de la féminisation de l'agriculture rurale à laquelle on assiste avec l'exode massif des hommes des campagnes vers les villes et de la marginalisation du genre féminin en milieu urbain car très souvent privées de scolarisation et relayées aux tâches ménagères, les femmes constituent une ressource précieuse et une locomotive capable de jouer un rôle majeur dans l'émergence d'un cadre propice au développement durable de cette région.
- Revoir et examiner les possibilités de concrétisation de notre proposition de mise sur pied d'un *Centre Communautaire de Développement Durable* où on envisagerait sur le même site :
 - Une utilisation de l'eau (douches, toilettes, cuisines et lavoirs communautaires), le traitement des eaux usées produites permettrait leur réutilisation, notamment en irrigation ;
 - Une fermentation des gadoues de fosses septiques et de l'ensemble de la fraction fermentescible des déchets de marchés et des déchets ménagers, premièrement afin de produire du biogaz valorisable comme gaz pour la cuisine et comme électricité pour alimenter l'ensemble des activités, si la production s'avère suffisante ;
 - Un traitement complémentaire du digestat par compostage afin de d'obtenir un produit hygiénisé valorisable comme amendement sur les sols peu fertiles de la zone et nécessitant l'apport constant d'engrais chimiques. On testerait premièrement ce compost sur le périmètre maraîcher de Guessou-sud avant d'envisager la commercialisation.

LISTE DES FIGURES

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figure 1 | Situation géographique de Bembéréké..... | 29 |
| Figure 2 | Composition massique des déchets ménagers de Bembéréké en 2005..... | 30 |
| Figure 3 | Composition massique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké... | 47 |
| Figure 4 | Composition volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké.. | 47 |
| Figure 5 | Composition massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké..... | 53 |
| Figure 6 | Composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké..... | 54 |
| Figure 7 | Composition massique des déchets ménagers de quelques villes du Bénin | 54 |
| Figure 8 | Composition volumique des déchets ménagers de quelques villes du Bénin..... | 55 |
| Figure 9 | Composition (%) massique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 56 |
| Figure 10 | Composition (%) volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 57 |
| Figure 11 | Résultats du test de la variabilité inter-saison générale de la production et de la composition des déchets ménagers à Bembéréké..... | 59 |
| Figure 12 | Composition des déchets de marchés à Bembéréké..... | 66 |
| Figure 13 | Comparaison des compositions massiques des déchets de marchés à Bembéréké, Yaoundé et au Grand-duché du Luxembourg..... | 66 |
| Figure 14 | Carte climatique du Bénin | 121 |
| Figure 15 | Formations végétales au Bénin..... | 124 |
| Figure 16 | Ensembles hydrographiques au Bénin..... | 124 |
| Figure 17 | Situation du département Borgou au Bénin..... | 136 |
| Figure 18 | Les zones agro-écologiques du Bénin..... | 138 |
| Figure 19 | Extraction du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 154 |
| Figure 20 | Visualisation de la projection des contours du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 155 |
| Figure 21 | Contours du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud en UTM..... | 155 |
| Figure 22 | Carte des sols du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 156 |
| Figure 23 | Tracé des courbes de niveau (<i>Surfer.8</i>) du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 157 |
| Figure 24 | Courbe hypsométrique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud... | 158 |
| Figure 25 | Variation interannuelle de l'indice pluviométrique à Ina..... | 161 |
| Figure 26 | Pluviométrie et humidité relative moyennes mensuelles à Ina..... | 161 |
| Figure 27 | Evaporation et insolation moyennes mensuelles à Ina..... | 165 |
| Figure 28 | Diagramme ombrothermique à Ina..... | 166 |
| Figure 29 | Image Google earth du 12/02/2011 de la retenue de Guessou-Sud..... | 167 |
| Figure 30 | Sol hydromorphe à pseudo-gley de la cuvette | 167 |
| Figure 31 | Image de la sortie de la cuvette | 168 |
| Figure 32 | Image en 3D de la cuvette et de sa zone inondable..... | 169 |
| Figure 33 | Coupe transversale de la cuvette selon l'axe (AA') de la figure 36..... | 170 |
| Figure 34 | Courbe hauteur-volume de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 170 |
| Figure 35 | Courbe hauteur-surface de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 171 |
| Figure 36 | Schéma des compartiments et des principaux processus hydrologiques.... | 172 |
| Figure 37 | Cuvette de la retenue et ses composantes hydrologiques..... | 178 |
| Figure 38 | Résultats de mesures des paramètres de suivi pour la période allant du 21/03/2012 au 23/04/2012 à la retenue de Guessou-Sud..... | 180 |
| Figure 39 | Schéma du pont de mesure des débits de sortie de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 181 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figure 40 | Evolution des côtes d'eau dans la cuvette et au pont et des précipitations.. | 182 |
| Figure 41 | Courbe de tarage du pont de mesure des débits..... | 183 |
| Figure 42 | Evolution des débits sortants et des précipitations..... | 183 |
| Figure 43 | Evolution des quantités d'eau stockée dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 189 |
| Figure 44 | Formes géométriques extrêmes potentielles de la cuvette..... | 201 |
| Figure 45 | Présentation schématique des hypothèses de dimensionnement de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 202 |
| Figure 46 | Fonction polynomiale optimale de la fonction $H = f[f(H)]$ | 203 |
| Figure 47 | Evolution annuelle des quantités d'eau stockées dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche et pour V_{initial} $= 40\,000\text{ m}^3$ | 206 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tableau 1 | Taux de collecte des déchets solides dans quelques grandes villes africaines..... | 5 |
| Tableau 2 | Quelques aspects de l'insalubrité à Bembéréké..... | 6 |
| Tableau 3 | Estimation de la population d'après extrapolation au taux inter annuel de 4,69 % des données du recensement 2002..... | 30 |
| Tableau 4 | Répartition des habitants dans la zone d'étude..... | 31 |
| Tableau 5 | Timing de l'échantillonnage..... | 33 |
| Tableau 6 | Répartition (%) des ménages échantillonnés..... | 43 |
| Tableau 7 | Production massive saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké..... | 45 |
| Tableau 8 | Production volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké... | 46 |
| Tableau 9 | Composition massive saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des standings..... | 48 |
| Tableau 10 | Composition massive saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 48 |
| Tableau 11 | Composition volumique saisonnière des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 49 |
| Tableau 12 | Masses volumiques apparentes des déchets et teneur en eau apparente saisonnières de la MO BIO..... | 50 |
| Tableau 13 | Masse volumique apparente saisonnière des déchets ménagers en fonction des quartiers..... | 50 |
| Tableau 14 | Production mensuelle moyenne des déchets ménagers à Bembéréké..... | 51 |
| Tableau 15 | Production journalière annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers et des standings..... | 51 |
| Tableau 16 | Composition massive annuelle des déchets ménagers à Bembéréké..... | 52 |
| Tableau 17 | Composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké.... | 53 |
| Tableau 18 | Composition massive annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 55 |
| Tableau 19 | Composition volumique annuelle des déchets ménagers à Bembéréké en fonction des quartiers..... | 56 |
| Tableau 20 | Résultats du test de la variabilité (<i>ANOVA</i>) inter-saison de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) au sein des quartiers et des standings.. | 59 |
| Tableau 21 | Résultats du test de la variabilité (<i>Analyse discriminante</i>) inter-saison de la composition pondérale des déchets ménagers au sein des quartiers et des standings..... | 60 |
| Tableau 22 | Résultats du test de la variabilité (<i>ANOVA</i>) intra-saison de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) entre les quartiers et entre les standings..... | 60 |
| Tableau 23 | Résultats du test de la variabilité (<i>Analyse discriminante</i>) intra-saison de la composition pondérale des déchets ménagers entre les quartiers et entre les standings..... | 61 |
| Tableau 24 | Résultats du test de la variabilité (<i>ANOVA</i>) annuelle de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) entre les quartiers et entre les standings.... | 61 |
| Tableau 25 | Résultats du test de la variabilité (<i>Analyse discriminante</i>) annuelle de la composition pondérale des déchets ménagers entre les quartiers et entre les standings..... | 61 |
| Tableau 26 | Résultats du test de la variabilité (<i>ANOVA</i>) annuelle de la production des déchets ménagers (kg/j.hab) au sein des quartiers et des standings..... | 62 |
| Tableau 27 | Résultats du test de la variabilité (<i>Analyse discriminante</i>) annuelle de la | |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| | composition pondérale des déchets ménagers au sein des quartiers et des standings..... | 62 |
| Tableau 28 | Production des déchets de marchés à Bembéréké..... | 65 |
| Tableau 29 | Principales étapes de la gestion des déchets ménagers..... | 80 |
| Tableau 30 | Productions moyennes des déchets ménagers à Bembéréké en 2011..... | 85 |
| Tableau 31 | Productions moyennes des déchets de marchés à Bembéréké en 2011..... | 85 |
| Tableau 32 | Classification des déchets ménagers à Bembéréké, selon leur comportement et leurs effets sur l'environnement..... | 87 |
| Tableau 33 | Poids des différentes catégories de déchets solides émis à Bembéréké.... | 96 |
| Tableau 34 | Récapitulatif des alternatives et de leurs variantes..... | 97 |
| Tableau 35 | Poids des critères « <i>coûts de gestion</i> », « <i>emplois créés</i> », « <i>prélèvements évités</i> » et « <i>nuisances évitées</i> »..... | 98 |
| Tableau 36 | Valeurs considérées pour le calcul des émissions évitées liées au recyclage..... | 99 |
| Tableau 37 | Valeurs des émissions évitées par la valorisation des déchets pour Bembéréké..... | 100 |
| Tableau 38 | Récapitulatif des critères d'analyse..... | 100 |
| Tableau 39 | Tableau de performance des alternatives..... | 102 |
| Tableau 40 | Synthèse des performances des alternatives..... | 103 |
| Tableau 41 | Estimations des ressources superficielles..... | 126 |
| Tableau 42 | Estimations de la recharge annuelle des aquifères au Bénin..... | 128 |
| Tableau 43 | Prélèvements d'eau en fonction des usages au Bénin en 2001..... | 130 |
| Tableau 44 | Taille du cheptel de la commune de Bembéréké en 1999..... | 148 |
| Tableau 45 | Répartition altimétrique du bassin versant de la retenue de Guessou-Sud. | 158 |
| Tableau 46 | Résultats de calcul du temps de concentration suivant les formules utilisées..... | 159 |
| Tableau 47 | Récapitulatif des caractéristiques morphométriques et hydrologiques..... | 160 |
| Tableau 48 | Pluviométrie et humidité moyennes mensuelles à Ina..... | 162 |
| Tableau 49 | Résultats fréquentiels des pluies maximales journalières..... | 162 |
| Tableau 50 | Résultats fréquentiels des pluies de courte durée..... | 162 |
| Tableau 51 | Estimation de la rétention initiale (P_0)..... | 163 |
| Tableau 52 | Résultats du calcul des débits maximaux journaliers..... | 164 |
| Tableau 53 | Températures et insolation moyennes mensuelles à Ina..... | 164 |
| Tableau 54 | Evaporation moyenne mensuelle sur évaporimètre de Piche et évaporation moyenne journalière sur Bac Colorado à Ina..... | 165 |
| Tableau 55 | Résultats mensuels du calcul de l'ETP(Thornthwaite) à Ina..... | 165 |
| Tableau 56 | Valeurs des paramètres caractéristiques de la cuvette aux dates des levés | 169 |
| Tableau 57 | Résultats du calcul des ETR (mm/mois) dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 173 |
| Tableau 58 | Valeurs de K en fonction du rapport R entre la profondeur d'immersion du flotteur et la profondeur de l'eau..... | 181 |
| Tableau 59 | Valeurs des différents termes du bilan d'eau pendant la période de décrue..... | 184 |
| Tableau 60 | Valeurs des différents termes du bilan d'eau pendant la période de débordements..... | 184 |
| Tableau 61 | Répartition annuelle des fonctions hydrologiques de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud..... | 186 |
| Tableau 62 | Volumes mensuels entrant dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud. | 188 |
| Tableau 63 | Valeurs mensuelles considérées des paramètres pour l'établissement du bilan d'eau annuel de la retenue de Guessou-Sud..... | 189 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Tableau 64 | Bilan d'eau moyen annuel de la retenue de Guessou-Sud..... | 190 |
| Tableau 65 | Bilan d'eau moyen annuel de la retenue de Guessou-Sud..... | 191 |
| Tableau 66 | Fréquences des minima pluviométriques annuels..... | 196 |
| Tableau 67 | Pluviométrie mensuelle pour l'année quinquennale sèche (mm)..... | 196 |
| Tableau 68 | ETR mensuelles pour une année quinquennale sèche dans le bassin versant de la retenue de Guessou-Sud..... | 197 |
| Tableau 69 | Besoins mensuels en eau (mm) de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour une année quinquennale sèche..... | 198 |
| Tableau 70 | Récapitulatif des besoins externes (prélèvements P_0) à satisfaire par la retenue de Guessou-Sud, pour l'année quinquennale sèche..... | 200 |
| Tableau 71 | Volumes mensuels d'eau entrant dans la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche..... | 204 |
| Tableau 72 | Valeurs des paramètres considérées pour l'établissement des courbes H-V-S..... | 205 |
| Tableau 73 | Bilan d'eau de la cuvette de la retenue de Guessou-Sud pour l'année quinquennale sèche et pour $V_{initial} = 40\ 000\ m^3$ | 207 |

LISTE DES ANNEXES

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Annexe 1 | Le projet Gestion des Déchets Solides à Bembéréké, un élan fort..... | 235 |
| Annexe 2 | Le projet REGIA à Guessou-Sud, la mise en route..... | 236 |
| Annexe 3 | Suivi de l'évaporation et de l'infiltration au sein de la cuvette de la retenue..... | 237 |
| Annexe 4 | Suivi des débits sortants de la cuvette de la retenue..... | 238 |
| Annexe 5 | Aspects du site de la retenue pendant les saisons sèches et pluvieuses..... | 239 |

ANNEXES
(PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES)

Annexe 1 : Le projet Gestion des Déchets Solides à Bembéréké, un élan fort...



Matériel alloué à la gestion des déchets solides à Bembéréké

(a : centre de regroupement ; b : tracteur pour la collecte ; c : poubelles en demi-fût et brouettes ; d : charrette à bras pour la pré-collecte ; e et f : petit matériel pour nettoyage)

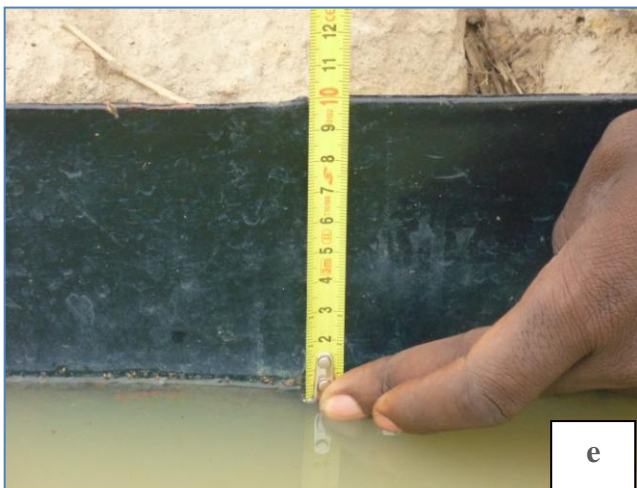
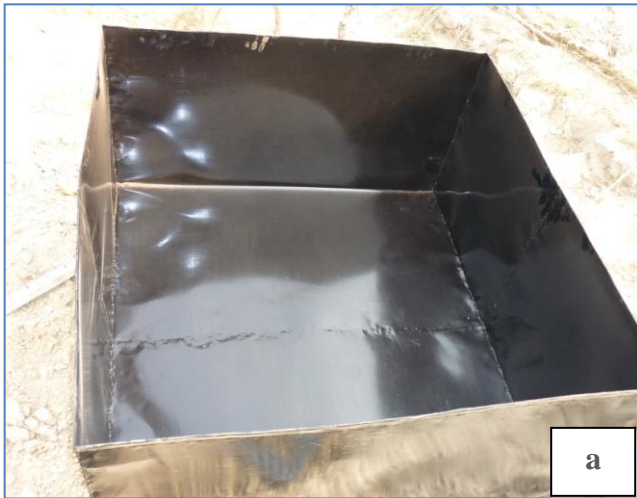
Annexe 2 : Le projet REGIA à Guessou-Sud, la mise en route...



Quelques postes ou réalisations en cours pour le projet REGIA

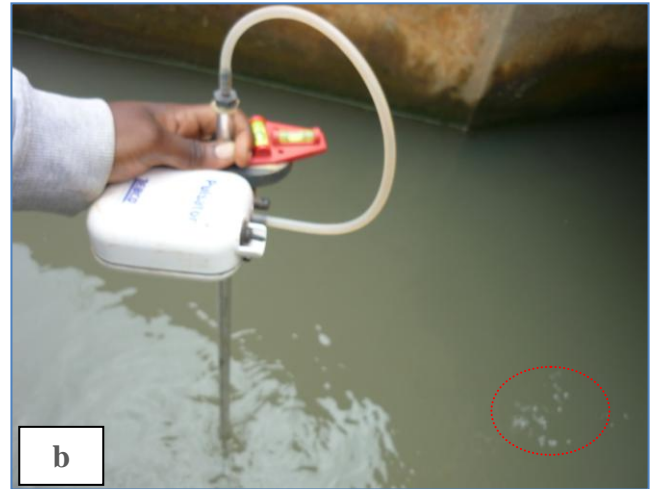
(a : abreuvement du bétail ; b : système de prise d'eau pour alimenter les réservoirs ; c : réservoirs d'eau pour arroser les cultures ; d : étangs piscicoles en construction ; e : panneaux solaires pour pomper l'eau de la cuvette aux réservoirs ; f : périmètre maraîcher en aménagement)

Annexe 3 : Suivi de l'évaporation et de l'infiltration au sein de la cuvette de la retenue



Quelques illustrations du matériel de mesure de l'évaporation et de l'infiltration
(a : bac Colorado normal ; b : bac Colorado ouvert à la base ; c : vérification de l'horizontalité du bac enterré ; d et e : vérification de l'égalité des niveaux de l'eau dans les bacs et du sol ; f : vue d'ensemble de l'installation)

Annexe 4 : Suivi des débits sortants de la cuvette de la retenue



Quelques illustrations des postes et matériel de mesure des débits

(a : pont de mesure des débits sortants ; b : FUL à bulles avec vue des bulles produites ; c : chronomètre et flotteurs ; d : vue d'un flotteur sur l'eau ; e : canne graduée pour mesurer la hauteur du plan d'eau dans la cuvette ; f : pluviomètre protégé avec du papier aluminium)

Annexe 5 : Aspects du site de la retenue pendant les saisons sèches et pluvieuses



Quelques illustrations de la métamorphose du site de la retenue de Guessou-Sud de la saison sèche à la saison pluvieuse

(a et b : sortie de la cuvette ; c et d : sol de la cuvette ; e et f : l'eau dans la cuvette)