REPUBLIQUE DU BENIN

****

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE

''ESPACES, CULTURES ET DEVELOPPEMENT''

N° d'enregistrement: 555 /EDP/FASHS/UAC

THESE DE DOCTORAT

DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Formation doctorale : Géographie et Gestion de l'Environnement

Spécialité : Environnement, Santé et Développement



ANALYSE SPATIALE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LA COMMUNE DE KANDI AU NORD DU BENIN

Présentée par :

Djafarou ASSOUMA ISSA

Sous la Direction de :

Christophe S. HOUSSOU

Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Président : **Monsieur Expédit Wilfrid VISSIN, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)**

Rapporteur : **Monsieur Christophe Ségbè HOUSSOU, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)**

Examinateur : **Monsieur Edinam KOLA, Professeur Titulaire, Pré-rapporteur, Université de Lomé (Togo)**

Examinateur : **Monsieur Mawulikplimi Kokou GBEMOU, Maître de Conférences, Pré-rapporteur, Université de Lomé (Togo)**

Examinateur : **Monsieur Ismaïla TOKO, Maître de Conférences, Pré-rapporteur, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)**

Mention : Très honorable avec les félicitations du Jury

Soutenue publiquement le 24 / 12 / 2018

SOMMAIRE

SOMMAIRE **2**
DEDICACE 3
REMERCIEMENTS 4
SIGLES ET ACRONYMES 5
RESUME 7
ABSTRACT 8
INTRODUCTION GENERALE 9
PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LA COMMUNE DE KANDI 14
Chapitre 1 : Cadre théorique et conceptuel 15
Chapitre 2 : Démarche méthodologique 33
Chapitre 3 : Cadre géographique et caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi 63
DEUXIEME PARTIE : ANALYSE DE LA VULNERABILITE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET IDENTIFICATION DES ZONES FAVORABLES A L'IMPLANTATION DE FORAGES DANS LA COMMUNE DE KANDI 129
Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau 130
Chapitre 5 : Identification des zones favorables à l'implantation de forage 183
CONCLUSION GENERALE 214
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 219
ANNEXES 233
LISTE DES FIGURES 267
LISTE DES TABLEAUX 271
LISTE DES PHOTOS 272
TABLE DES MATIÈRES 273

DEDICACE

A

- mon défunt père, feu Issa ASSOUMA,
- ma mère Haoulatou IBRAHIM,
- ma chère et tendre épouse Barikissou CHABI GANI et nos enfants Miska, Rihame, Radifa et Nadjwa.

REMERCIEMENTS

Je rends avant tout gloire à Dieu pour ses œuvres merveilleuses dans ma vie. Je choisis de passer sous silence les détails dont au quotidien par sa grâce, je ne manque d'être reconnaissant. Pendant tout ce temps, plusieurs personnes de près ou de loin sont intervenues dans la réalisation de ce document. Malgré qu'il soit impossible de citer chacun, c'est pour moi l'occasion de remercier : d'abord, mon Directeur de thèse, le Professeur Christophe S. HOUSSOU pour avoir accepté la supervision de ce travail. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance pour ses multiples lectures, son entière disponibilité malgré ses multiples occupations et surtout les remarques très pertinentes et l'orientation scientifique de ce travail.

Ma reconnaissance et mes remerciements vont à l'endroit des membres du jury de défense de cette thèse. Chers Professeurs, merci pour les observations pertinentes faites en vue de l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail. Que les autorités de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Cultures et Développement », particulièrement son Promoteur, le Professeur Michel BOKO, veuillent recevoir l'expression de ma profonde gratitude, pour m'avoir accepté dans cette école.

Mes vifs remerciements vont également à l'endroit des Enseignants Chercheurs du Laboratoire d'Etude des Dynamiques Urbaines et Régionales (LEDUR) en particulier à leur Directeur, le Professeur Emérite Benoît N'BESSA ; sans oublier ceux du Laboratoire de Cartographie (LaCarto), à leur Directeur, le Dr Omer THOMAS et son Adjoint le Dr Ismaïla I.TOKO. Je dis infiniment merci au Professeur Expédit W. VISSIN, au Dr Ibouraïma YABI, au Dr Osséni AROUNA, au Dr Soufiane ZAKARI, au Djafarou ABDOULAYE et au Dr Frédéric KOMBIENI. Je ne saurais oublier le Dr Rachidi SALIOU, le Dr Sanni BABIO, le Dr Adissatou SARE et le Dr Emile EDEA pour l'intérêt manifeste porté au sujet de la présente thèse. Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les Enseignants de l'IMSP et du Centre Régional de formation aux Techniques de levés Aérospatiaux (RECTAS). Mes remerciements s'adressent à mes amis Franck ATTOLOU, Massouhoudou G. SAMBO, Abib Guimmongui S. O. BOGO, Salomon C. ADIMI, Housérou DJIBRIL, Nourou TOKO et Zoulkifirou MAMA OSSENI pour leurs appuis techniques très remarquables exprimés tout au long de mes travaux.

Ma grande reconnaissance et mes sincères remerciements vont également à l'endroit de mon Très Cher Grand frère, Ami, Président, Professeur, Maître Joseph DJOGBENOU, pour l'amour de fraternité et soutien tant moral que financier.

Je tiens à présenter mes remerciements au personnel du Laboratoire de la DDH du Borgou/Alibori pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau. Mes remerciements vont également à l'endroit du personnel du Service Eau de Kandi, la Mairie, la SONEB, l'Hôpital de Zone, le CARDER, les ONG et les personnes ressources qui n'ont ménagé aucun effort pour me faciliter la tâche lors des entretiens et la collecte des données.

J'exprime ma profonde gratitude à Madame El Hadja Nouratou ALI, ma chère maman de tous les jours, merci infiniment pour vos multiples prières, soutiens, assistances et affections. Qu'Allah vous les rendent au centuple, ''Amen''.

J'adresse mes vifs remerciements au Colonel Sabi Bédari BIO-YO et à son épouse pour leurs conseils, soutiens, encouragements et tous les soins inoubliables dont j'ai bénéficié. Que le Seigneur vous comble de ses bénédictions, ''Amen''.

Je prie mes frères et sœurs, cousins, cousines, oncles, tantes, neveux et nièces, amis et amies qui ne sont pas nommés ici par souci de synthèse de trouver dans cette thèse la consécration de tous leurs sacrifices.

SIGLES ET ACRONYMES

ACEP	: Associations des Consommateurs d'Eau Potable
ACP	: Analyse en Composante Principale
AEP	: Approvisionnement en Eau Potable
AEPHA	: Approvisionnement en Eau Potable, Hygiène et Assainissement
AEV	: Adductions d'Eau Villageoise
AHP/PHA	: Analytical Hyerachy Process / Processus de Hiérarchisation Analytique
AMC	: Analyse Multicritère
APEM	: Assistance à la Promotion de l'Enfance Malheureuse
APIDA	: Association pour la Promotion de l'Intercommunalité dans le Département de l'Alibori
AR	: Artisans Réparateurs
ASECNA	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
BDI	: Banque de Données Intégrées
BF	: Bornes Fontaines
BPO	: Budgets Programmes par Objectifs
CARDER	: Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CEMOS	: Cadre d'Entretien et de Maintenance des Ouvrages Simples
CeRPA	: Centre Régional pour la Promotion Agricole
CC-Eau	: Comité Communal Eau
DBM	: Déchets Biomédicaux
DCAM	: Développement Communautaire et Assainissement du Milieu
DG Eau	: Direction Générale de l'Eau
DDH	: Direction Départementale de l'Hydraulique
DRH	: Direction Régionale de l'Hydraulique
D/ST	: Direction des Services Techniques
EDP-ECD	: Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ''Espaces, Cultures et Développements''
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FCFA	: Franc des Communautés Financières d'Afrique
FDL	: Fonds de Développement Local
FCP	: Forage Contre Puits
FPM	: Forage doté de Pompes à Motricité humaine
FSA	: Faculté des Sciences Agronomiques
GIRE	: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GIZ	: Coopération Technique Internationale Allemande au Développement
GIS	: Geographic Information System / Système d'Information Géographique
GLCF	: Global Land Cover Facility / Couverture Mondiale des Sols
GPS	: Global Positionning System / Système de Positionnement Global
ImS	: Intermédiation Sociale
IMSP	: Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques
INSAE	: Institut National des Statistiques et de l'Analyse Economique
ISTED	: Institut des Sciences et Techniques de l'Equipement et de l'Environnement pour le Développement
KfW	: Agence Allemande de crédit pour la Reconstruction et le Développement
LABEDUR	: Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales
LS	: Longueur de la Pente
MEHU	: Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MO	: Maîtrise d'Ouvrage

MOC	: Maîtrise d'Ouvrage Communale
MSP	: Ministère de la Santé Publique
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
OLI-TIRS	: Operational Land Imager - Thermal Infrared Sensor / Image Terrestre Opérationnelle - Capteur Infrarouge Thermique
OMD	: Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
OS	: Objectif Spécifique
OVP	: Opération Ville Propre
PADEAR	: Projet d'Assistance au Développement du secteur de l'Alimentation en Eau potable et de l'Assainissement en milieu Rural
PADEB	: Projet d'Appui au Développement de l'Elevage dans le Borgou
PADPPA	: Programme d'Appui au Développement Participatif de la Pêche Artisanale
PC - Eau	: Programmation Communale Eau
PGUD	: Projet de Gestion Urbaine Décentralisée
PDC	: Plan de Développement Communal
PM	: Puits à Grand Diamètre
PPEA	: Programme Pluriannuel d'appui au secteur Eau et Assainissement
PT	: Puits Traditionnels
PTF	: Partenaire Technique et Financier
PS Eau	: Plan Sectoriel Eau
RECTAS	: Centre Régional de formation aux Techniques de levés Aérospatiaux
RGPH	: Recensement Générale de la Population et de l'Habitat
SBEE	: Société Béninoise d'Energie Electrique
SCDA	: Secteur Communal pour le Développement Agricole
SDE	: Services Déconcentrés de l'Etat
SDLP	: Service du Développement Local et de la Planification
SIG	: Système d'Information Géographique
SIS	: Structure d'Intermédiations Sociales
SONEB	: Société Nationale des Eaux du Bénin
SNIGS	: Système National d'Information et de Gestion Sanitaire
SNV	: Organisation Nerlandaise de Développement
SRH	: Service Régional de l'Hydraulique
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission / Mission de Topographie Radar de la Navette
SWOT	: Strengths Weakness, Opportunities and Threats / Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces)
UAC	: Université d'Abomey - Calavi
UCP	: Union Communale des Producteurs
UNICEF	: Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
USLE	: Universal Soil Loose Equation / Equation Libre de Sol Universel
UTM	: Universal Transversal of Mercator / Transversal Universel de Mercator
WGS 84	: World Geodetic System 1984 / Système Géodésique Mondial 1984

RESUME

La mauvaise spatialisation des sources d'approvisionnement en eau entraîne une affluence des usagers autour des ouvrages d'eau compromettant ainsi leur qualité. L'insuffisance par endroit des ouvrages d'alimentation en eau, conduit souvent les usagers de la zone de recherche à exploiter les sources d'eau inappropriées à la consommation.

La présente thèse vise à étudier par l'approche SIG, l'état des sources d'approvisionnement en eau liées aux éléments de l'environnement et aux actions anthropiques dans la Commune de Kandi.

La démarche méthodologique utilisée se présente comme suit : Premièrement, il a été question d'inventorier les types d'ouvrages d'eau disponibles, de les cartographier et d'analyser leur distribution spatiale à partir des données sociodémographiques et géo-spatiales dans un Système d'Information Géographique (SIG). Deuxièmement, il s'est agi de l'analyse de la vulnérabilité des sources d'alimentation en eau liées aux éléments physico-chimiques et bactériologiques et la cartographie de l'occurrence des maladies hydriques de 2007 à 2016. Et troisièmement, l'identification des zones propices à l'implantation de forages a été réalisée à partir du potentiel en eau souterraine et l'aptitude hydrodynamique des aquifères du socle.

La caractérisation et la cartographie des sources d'approvisionnement en eau ont permis de noter que 59 % des infrastructures hydrauliques disponibles sont constituées de Forages équipés de Pompe à Motricité humaine (FPM), 31 % des Puits Modernes à grand diamètre (PM), 9 % des Bornes Fontaines (BF) et 1 % des Forages Contre Puits (FCP). A côté de ces infrastructures hydrauliques, les populations exploitent également le réseau d'adduction d'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB), les Puits Traditionnels (PT), les retenues d'eau, les mares et cours d'eau. Le taux de panne et de desserte par arrondissement ont été explorés. Le polygone de Thiessen a été généré à partir du logiciel Arc Gis 10.3 pour mieux appréhender la couverture spatiale de ces infrastructures hydrauliques.

Les résultats issus de l'analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau ont permis de mettre en exergue la variation des éléments physico-chimiques et bactériologiques des ouvrages d'eau étudiés des localités de la Commune. La cartographie de l'occurrence des maladies hydriques de 2007 à 2016 a permis de mettre en évidence l'évolution des maladies liées à l'eau de boisson. L'analyse des perceptions des populations locales sur les déterminants de dégradation des sources d'approvisionnement en eau et les difficultés liées à l'hygiène et à l'assainissement de base ont permis de dégager les Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) dans la gouvernance du sous-secteur AEPHA.

La détermination des zones favorables à l'implantation de forages a mis en évidence le potentiel en eau souterraine et l'aptitude hydrodynamique des aquifères. 26,77 % de la superficie totale de la Commune affiche un bon potentiel hydrogéologique ; 38,3 % un potentiel moyen ; 23,88 % un potentiel passable et 11,03 % un potentiel faible. Les zones ayant un potentiel en eau faible (11,03 %) sont des zones de socle. Enfin, le potentiel hydrodynamique montre que 11,50 % du territoire de la Commune présente un potentiel faible ; 34,86 % un potentiel passable ; 34,2 % un potentiel modéré et 19,42 % un potentiel bon.

Mots clés : Analyse spatiale, Qualité de l'eau de boisson, Sources d'approvisionnement en eau, Kandi.

ABSTRACT

The bad spatialization of water supply sources leads to an influx of users around water works compromising their quality. The inadequacy of water supply structures in some places often leads users in the research area to exploit water sources that are inappropriate for consumption.

The present thesis aims to study by a GIS approach, the state of the water supply sources related to the elements of the environment and to human actions in the Commune of Kandi.

The methodological approach used is: Firstly, it was a question of inventorying the types of available water structures, mapping them and analyzing their spatial distribution from socio-demographic and geospatial data in a Geographic Information System (GIS). Secondly, the analysis of the vulnerability of water supply sources and the mapping of the occurrence of waterborne diseases from 2007 to 2016. And finally, thirdly, the identification of suitable areas for drilling has been made from the groundwater potential and the hydrodynamic ability of basement aquifers.

The characterization and mapping of the water supply sources made it possible to note that 59 % of the hydraulic infrastructures available are made up of boreholes equipped with a Human Powered Pump (FPM), 31 % of Large Diameter Modern Wells (PM), 9 % of the Fountain Terminals (BF) and 1 % of the Well Drilling (FCP). In addition to these hydraulic infrastructures, the population also exploits SONEB's water supply network, traditional wells, water reservoirs, ponds and streams. The rate of breakdown and service by district were explored. The Thiessen polygon was generated from the Arc Gis 10.3 software to better understand the spatial coverage of these hydraulic infrastructures.

The results from the analysis of the vulnerability of water supply sources made it possible to highlight the spatio-temporal variation of the physicochemical and bacteriological elements of the studied water structures. The mapping of the occurrence of waterborne diseases from 2007 to 2016 has highlighted the spatio-temporal evolution of diseases related to poor quality of drinking water. Analysis of local people's perceptions of the determinants of water supply degradation and basic hygiene and sanitation challenges identified Forces, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) in the governance of the WASH sub-sector.

Determination of areas favorable for drilling has demonstrated the potential for groundwater and the hydrodynamic ability of aquifers. With regard to groundwater potential, 26.77 % of the total area of the municipality has good hydrogeological potential; 38.3 % average potential; 23.88 % a fair potential and 11.03 % a low potential. Areas with low water potential (11.03 %) are basement areas. Finally, the hydrodynamic potential shows that 11.50% of the municipality's territory has a low potential. 34.86 % of the municipal area has a fair hydrodynamic potential. 34.2 % of the territory has a moderate hydrodynamic potential. 19.42 % of the territory has a good hydrodynamic potential.

Key words: Spatial analysis, Quality of drinking water, Water supply sources, Kandi.

INTRODUCTION GENERALE

La croissance non planifiée des villes africaines est pointée du doigt dans la non maîtrise de la qualité de l'environnement qui devient un enjeu majeur de santé publique (Bio, 2015 ; Kjellstrom *et al.*, 2007, OMS, 1994). Par ailleurs, l'accroissement rapide de la population, la diversité des activités utilisant l'eau, les mauvaises conditions d'évacuation des excréta et des eaux usées ont des conséquences sur la santé des populations (Bio, 2015 ; Poda et *al.*, 2007). Une mauvaise hygiène dans de nombreux espaces urbains et périurbains offre des conditions bioécologiques favorables au développement des germes pathogènes responsables de nombreuses maladies (Bio, 2015 ; Allagbé, 2005 ; Mouchet, 1991).

Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, du développement de l'industrie et l'accroissement des activités humaines qui à leur tour engendrent une pollution des ressources hydriques disponibles les rendant ainsi impropres à la consommation (Bio, 2015). La pollution de l'eau engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines a fait qu'aujourd'hui, l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement (Bio, 2015).

Selon les données de l'OMS (2011), le pourcentage de la population utilisant des sources d'eau de boisson améliorées en Afrique est passé de 50 % en 1990 à plus de 60 % en 2011. Un progrès notable a été noté dans l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) qui stipule que « le pourcentage de personnes dans le monde privées d'accès à une eau de boisson sans risque sanitaire et à des installations d'assainissement de base par rapport aux chiffres correspondant en 1990 soit divisé par deux d'ici 2015 ».

Le bilan est d'actualité dans chaque pays particulièrement au Bénin où depuis 1998, le document ‘'Vision eau à l'horizon 2025 ‘' rassurait que moins de 18 % des ressources en eaux souterraines et moins de 40 % des ressources en eau de surface seront sollicitées pour couvrir les besoins des populations béninoises dans les différentes branches d'activités (Oussou, 2015). Fort de ces constats, il n'y aurait globalement pas de risque de pénurie d'eau au Bénin à l'horizon 2025 (Oussou, 2015 ; Boukari, 2002).

Par ailleurs, la rentabilité des projets d'alimentation en eau potable reste un défi majeur dans la mesure où les divers efforts se fragilisent face au taux de forages négatifs près de 34 % la disparité des infrastructures hydrauliques et le manque de suivi de ces ouvrages d'eau (Oussou, 2015 ; Géohydraulique, 1985). Les projets d'étude liées à la prospection et à l'identification hydrogéologique en vue de la réalisation des infrastructures hydrauliques sont assez considérables et donnent naissance à des bases de données combien utiles pour accéder plus facilement à la ressource (Oussou, 2015).

L'étude des isotopes stables (Oussou, 2015 ; Grootes et *al.*, 1989 ; Nativ et Riggio, 1989 ; Sonntag et *al.*, 1980), de la géophysique et des méthodes basiques d'analyses des caractéristiques hydrodynamique et chimique d'un aquifère offrent la possibilité de fournir une base de données et d'informations très fiables sur la nature des réservoirs d'eau souterraine. Toutefois, le coût et le temps requis pour l'acquisition et le traitement des informations restent relativement élevés proportionnellement à la surface couverte souvent faible (Oussou, 2015).

Il urge de rechercher d'autres approches complémentaires innovantes. Il s'agit de la télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Ainsi, les études d'application de la télédétection apparaissent depuis plusieurs années comme un outil puissant de prospection pouvant contribuer de façon significative aux projets géologiques et au développement soutenable du continent africain (Oussou, 2015). Ce potentiel apport de la télédétection s'exprime d'avantage quand le Système d'Information Géographique (SIG) s'y associe offrant une quantité impressionnante de données, d'analyse et d'informations disponibles en temps réel et sur un territoire relativement vaste (Oussou, 2015 ; Assouma, 2011 ; ISTED, 2002).

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication offre un vaste panorama de possibilités pour établir de nouvelles approches de la collecte et l'utilisation des données sur l'eau. A cet égard, les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), qui allient la cartographie et la gestion de base de données, apportent une réponse aux besoins en matière de données sur l'eau (Assouma 2011 ; ISTED, 2002). Ils permettent de relever le défi de la connaissance de la ressource eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif (ISTED, 2002). Les SIG, qui concernent autant les eaux superficielles que souterraines, participent à la protection et à la restauration de la ressource en eau, à la gestion de sa qualité en surveillant l'état de son exploitation ou en optimisant les réservoirs en eau potable en milieu urbain et rural dans un souci de transparence et d'accessibilité (Assouma, 2011; ISTED, 2002).

La cartographie et l'analyse spatiale constituent des éléments très importants pour la gestion spatiale des ressources en eau (Assouma, 2011; Smida, et *al.*, 2010). Mieux, l'analyse spatiale favorise une meilleure gestion des ressources en eau et la mise en place d'actions efficaces pour la prévention de la pollution (Smida, et *al.*, 2010). Tous ces éléments montrent que le SIG est un outil performant qui offre de nouvelles et riches perspectives pour tout processus de gestion et pour la conduite de politique de l'eau.

Au Bénin, la législation en matière de gestion des ressources en eau (Loi n° 87-016 du 21 septembre 1987 portant Code de l'Eau ; Décret n° 2001-094 du 20 février 2001 relatif à la qualité de l'eau ; Loi n° 2010-44 du 24 novembre 2010 portant Gestion de l'eau en République du Bénin), d'hygiène publique (Décret n° 97-616 du 18 décembre 1997 portant application de la loi n° 87-015 du 21 septembre 1987 portant Code de l'Hygiène Publique) et de l'environnement (Loi n° 98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement au Bénin) a prévu la protection quantitative et qualitative de cette ressource. De plus, la loi n° 97-029 du 15 janvier 1999 portant organisation des Communes en République du Bénin, en ces articles 94 et 95, a mis clairement en exergue la forte implication de la Commune dans la gestion des ressources en eau (DG Eau, 2010 ; DGH, 2005).

Malgré ces dispositions législatives, la Commune de Kandi à l'instar de celles des autres Communes béninoises éprouve d'énormes difficultés à assurer cette denrée à sa population.

Les principales difficultés rencontrées par la Commune de Kandi se résument à :

- une insuffisance de données sur les ressources en eau, l'hygiène et l'assainissement ;
- une faible couverture en infrastructures hydrauliques ;
- une faible appropriation des bonnes pratiques dans le domaine de l'eau, l'hygiène et l'assainissement de base ;
- une dégradation des ressources en eau liée surtout aux actions anthropiques ;
- un manque de volonté politique d'inscrire le sous-secteur eau, hygiène et assainissement de base dans les priorités stratégiques de développement en tant que programme national comme c'est le cas dans le domaine de l'éducation et de la santé.

La présente thèse portant sur le sujet : « **Analyse spatiale des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi au nord du Bénin** » se veut une contribution aux débats actuels sur les questions liées à la gestion intégrée des ressources en eau, notamment dans la partie septentrionale du Bénin. Cette thèse est structurée en deux grandes parties.

La première partie intitulée cadre théorique, géographique et caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi est composée de trois chapitres.

Le premier chapitre présente le cadre théorique et conceptuel.

Le deuxième chapitre expose la démarche méthodologique.

Le troisième chapitre décrit le cadre géographique et la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi.

La deuxième partie constituée de deux chapitres aborde l'analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau et l'identification des zones favorables à l'implantation de forages dans la Commune de Kandi.

Le quatrième chapitre est dévolu à l'analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi.

Le cinquième chapitre identifie les zones propices à l'implantation de forages dans la Commune de Kandi.

PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LA COMMUNE DE KANDI

Chapitre 1 : Cadre théorique et conceptuel

Ce chapitre expose le cadre théorique et conceptuel de l'étude. Le cadre théorique a posé le contexte d'étude afin de dégager les objectifs et les hypothèses de recherche. Les concepts spécifiques utilisés ont été aussi clarifiés. Le cadre conceptuel expose le fondement de l'étude.

1.1- Cadre théorique

Cette partie est consacrée au contexte d'étude, aux hypothèses de travail, et aux objectifs fondamentaux fixant l'ossature de l'étude. Enfin, les concepts clés qui fondent l'étude sont clarifiés suivis d'un point de connaissance sur la littérature relative au sujet.

1.1.1- Contexte d'étude

L'eau est un élément important pour la vie sur la terre ; cependant sa distribution est inégale (El hadani, 1997). L'eau est indispensable à l'organisme humain. Elle représente 85 % de la masse du cerveau, 73 % de celle du foie, 86 % du cœur et 83 % pour le sang ainsi que les reins (http://www.institut-eau.com/fr/d-1-a_eau_corps_humain.asp). Elle constitue donc le moteur de notre corps, raison pour laquelle elle est appelée source de vie. Il apparaît donc que nos organes vitaux feront les frais à court, moyen et long terme de la qualité de l'eau que nous consommons aujourd'hui. Après de nombreux travaux de recherches menés sur les maladies d'origine hydrique, Louis Pasteur déclara : « 80 à 90% des maladies dont nous souffrons sont liées à l'eau que nous buvons ». Dans ce cas, l'eau, source de vie, devient potentiellement un vecteur de transmission de maladies parfois mortelles et à caractère endémique voire pandémique. C'est parce que l'eau, de qualité requise et en quantité suffisante, est un trésor indispensable et irremplaçable que le décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin en son article 25 stipule que : « l'eau fait partie du patrimoine national. Sa protection est d'intérêt général ».

De même, l'agriculture intensive, l'industrialisation, la production d'électricité, l'urbanisation et l'hyperconsommation de l'eau mettent une pression sur les réserves d'eau de sorte que le rythme de prélèvements dépasse souvent celui de la reconstitution (Degnidé, 2004). Ces activités ont pour conséquence la détérioration de la qualité des eaux. Le problème de gestion de l'eau se pose différemment d'une région à l'autre.

Si dans les pays du nord, se manifeste de plus en plus une prise de conscience de la nécessité de réduire le gaspillage de l'eau et de limiter les impacts des rejets d'eaux usées dans

l'environnement ; dans les pays du sud, l'accès à l'eau est encore difficile. Les rivières, les marigots et les puits domestiques demeurent encore les sources directes d'approvisionnement en eau (Assouma et *al.*, 2016 ; Assouma et *al.*, 2001 ; Degnidé, 2004 ; Magbondé, 2004).

Par ailleurs, la mauvaise spatialisation des ouvrages hydrauliques entraîne une affluence des usagers autour de ces sources d'approvisionnement en eau compromettant ainsi la qualité des eaux. Les mauvaises conditions d'entretien de certaines sources d'approvisionnement en eau (puits traditionnels et retenues d'eau) favorisent leur contamination par les agents pathogènes (Assouma, 2011 ; Assouma, 2003). Cette situation est à l'origine de la vulnérabilité de ces sources d'eau et du coup l'éclatement de diverses maladies hydriques qui frappent les populations (Assouma, 2004).

Dès lors, malgré la disponibilité de la ressource en eau dans la Commune de Kandi, il existe une recrudescence des maladies liées à l'eau dont les causes seraient entre autres l'utilisation des sources d'eau non potable et surtout les mauvaises conditions d'hygiène autour des points d'eau (Assouma, 2011 ; Assouma, 2004 ; Assouma, 2003). D'après les données de (l'INSAE, $RGPH_3$ 2003), 9,12% des populations de la Commune de Kandi s'approvisionnent en eau potable à travers le réseau de distribution de la SONEB ; 29,7% s'alimentent à partir des infrastructures hydrauliques mises en service par la Direction Générale de l'Eau (DG Eau) ; 43,82% utilisent l'eau des sources gratuites (puits, cours d'eau, eau de pluie etc.), exposées à la pollution, donc de qualité douteuse et non contrôlées par les services d'hygiène. Cette situation engendre des nuisances de santé qui dans certains cas sont fatales. Le problème d'accessibilité à l'eau potable dans la Commune de Kandi se pose en terme de mauvaise répartition spatiale des infrastructures hydrauliques (Assouma, 2011). Au niveau du centre urbain, la non satisfaction des demandes en instance d'abonnement au réseau d'adduction d'eau potable de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) préoccupe tant les élus locaux que les populations bénéficiaires. La situation est encore alarmante au niveau des zones périphériques. Les populations s'adonnent aux puits forés à domicile ou parcourent de longue distance à longueur de journée en quête d'eau potable.

Dans les zones rurales de la Commune non couvertes par le réseau d'adduction d'eau de la SONEB, les populations exploitent les ouvrages hydrauliques mis en place par la Direction Générale de l'Eau (DG Eau). Les difficultés d'accès à l'eau potable sont surtout liées à l'insuffisance des ouvrages d'approvisionnement et aux pannes fréquentes de certains de ces ouvrages dues non seulement à leur exploitation abusive mais aussi au manque de maintenance (Assouma, 2011). L'insuffisance d'ouvrages hydrauliques entraîne une affluence autour des ouvrages d'eau surtout en saison sèche. Cette situation est souvent à la base de

quelques conflits notés entre les différents usagers de l'eau. Par ailleurs, l'usage de plusieurs puisettes et autres objets à la fois pour le recueil de l'eau dans les puits affectent considérablement la qualité de l'eau (Assouma et *al.*, 2016 ; Assani, 1995). Cette insuffisance d'infrastructures hydrauliques conduit les autorités locales à la recherche du financement pour la multiplication des sources d'approvisionnement en eau. Ainsi, ce besoin croissant de prospecter, d'exploiter, d'aménager et de gérer les ressources en eau requiert la connaissance et la maîtrise de plusieurs paramètres géologiques, hydrogéologiques, géomorphologiques, les données d'infrastructures et socio-économiques (El hadani, 1997). La mise en valeur durable de ces sources exige la connaissance de leurs potentialités, leur état, leur disponibilité à travers la mise en place d'un système d'information capable de favoriser leurs aménagements et valorisations (Assouma, 2011 ; El hadani, 1997). Cette connaissance fait appel aux outils de modélisation dont la télédétection et les SIG, à partir desquels les ressources à référence spatiale sont mieux connues, valorisées et gérées par les communautés (Assouma, 2011 ; Sawagogo, 2008).

Les facteurs justificatifs de cette recherche sont liés aux nuisances permanentes que subissent les sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi. L'utilisation accrue des intrants suite à l'intensification de la production cotonnière et diverses spéculations en promotion dans le milieu de recherche constituent des menaces directes aux sources d'alimentation en eau (Bio, 2015 ; Assouma, 2004 ; Assouma, 2003). Le faible niveau des populations en matière d'hygiène et d'assainissement autour des points d'eau contribue à une menace anthropique des ouvrages d'eau (Assouma et *al.*, 2001 ; Assani, 1995). Ainsi, les pratiques d'hygiène notées autour des points d'eau lors de la collecte des données sur le terrain laissent à désirer. Les activités domestiques et quelques travaux champêtres sont exercés non loin de certaines sources d'approvisionnement en eau (Assouma, 2011 ; Assouma, 2004 ; Assouma, 2003). Les fosses septiques, latrines à domicile et quelques dépotoirs sauvages d'ordures ménagères à proximité des sources d'eau sont récurrents (Assouma et *al.*, 2001 ; Assani, 1995).

Ces ouvrages d'assainissement entraînent une contamination systématique des points d'eau et les rendent vulnérables à la pollution (Assouma, 2011). Les sources d'eau naturelles (mares et retenues d'eau) quant à elles, subissent diverses menaces pastorales et anthropiques à travers les pratiques liées à la transhumance, aux travaux champêtres, à la pêche et aux travaux domestiques dans les abords immédiats de ces sources d'eau et des intempéries liés aux aléas climatiques. Ce sont ces constats qui ont motivé le choix porté sur la Commune de Kandi comme étant le cadre de cette thèse.

La question principale de recherche est de savoir en quoi les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont utiles pour faire l'état des sources d'approvisionnement en eau lié aux éléments de l'environnement et aux actions anthropiques dans la Commune de Kandi ?

Il importe d'analyser les impacts de ces pressions anthropiques sur la ressource eau dans la Commune de Kandi à partir d'une approche qui intègre l'analyse spatiale des sources d'approvisionnement en eau sans oublier celle de la perception locale qui permettra de comprendre les déterminants mobiles de dégradation (leurs états) des sources d'alimentation en eau.

Les questions spécifiques de recherche suivantes gardent alors toutes leurs importances :

- La diversité des sources d'approvisionnement en eau permet-elle aux populations de la Commune de Kandi de satisfaire leur besoin en eau ?
- Comment peut-on analyser par l'approche SIG la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau liées aux éléments physico-chimiques et bactériologiques?
- Peut-on à partir des techniques de la télédétection et des SIG déterminer les zones favorables à l'implantation de forages ?

C'est à partir de ces questions de recherche qu'il est impérieux de dégager les différents objectifs qui sous-tendent cette étude.

1.1.2- Objectifs de l'étude

Objectif global

L'objectif global de la présente thèse est d'étudier par l'approche SIG, l'état des sources d'approvisionnement en eau liées aux éléments de l'environnement et aux actions anthropiques dans la Commune de Kandi.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- Caractériser les sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi ;
- Analyser par l'approche SIG, la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau liées aux éléments physico-chimiques et bactériologiques ;
- Déterminer à partir des techniques de télédétection et des SIG, les zones favorables à l'implantation de forages.

Pour vérifier l'atteinte de ces objectifs, des réponses provisoires ont été formulées. Elles peuvent être confirmées ou infirmées à la fin de cette étude.

1.1.3- Hypothèses de travail

Les actions anthropiques et les éléments de l'environnement contribuent à la pollution des sources d'approvisionnement en eau.

H1 : La répartition géographique des sources d'approvisionnement en eau est fonction du nombre d'habitant dans la Commune de Kandi ;

H2 : L'existence de plusieurs foyers de pollution favorisent la dégradation des sources d'alimentation en eau des populations ;

H3 : Les techniques de télédétection et du SIG contribuent à la détermination des sites propices à l'implantation de forage.

1.1.4- Clarification des concepts

La clarification des concepts effectuée à la lumière de la littérature scientifique pour la compréhension du texte se présente comme suit :

Accessibilité : En géographie, l'accessibilité d'un lieu est généralement définie comme la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux, par un ou plusieurs individus susceptibles de se déplacer à l'aide de tout ou partie des moyens de transport existants (Dieng, 2014 ; Chapelon 2004). Un service, une fonction ou un lieu est accessible lorsqu'il est conçu, développé et mis en œuvre de façon à être accessible à tous (Dieng, 2014). Ainsi l'accessibilité ne renvoie pas uniquement à la seule possibilité d'atteindre ou non un lieu donné, mais elle traduit également la pénibilité du déplacement, la difficulté de la mise en relation appréhendée le plus souvent par la mesure des contraintes spatio-temporelles (Dieng, 2014). De ce fait, l'accessibilité dépend non seulement de la position géographique respective des lieux d'origine et de destination, mais également du niveau de service offert par le ou les systèmes de transport utilisés pour accomplir le déplacement (Dieng, 2014 ; Attolou, 2011).

Dans le cadre de cette thèse, l'accessibilité définit plutôt le potentiel d'accès aux sources d'approvisionnement en eau. Ce qui renvoie surtout à la notion de coût et de distance séparant les points d'eau des populations. Elle est ici fonction du couple distance / temps, donc de la proximité ou de l'éloignement des sources d'alimentation en eau.

Aquifère : C'est une formation géologique, continue ou discontinue, contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable, constituée de roches perméables (formations poreuses ou fissurées) et capable de la restituer naturellement ou par exploitation (drainage, pompage) (Degnidé, 2004).

Aléa : C'est la fréquence d'un événement ou sa probabilité d'occurrence (Torterotot, 1993). Il correspond au phénomène physique, découlant des évènements hydrométéorologiques (Poulard et *al.,* 2009). Dans le recueil de définition proposé par le Groupe des Ecoles des Mines GEM (2002), la définition adoptée par l'*United Nations Desasters Relief Organisation (UNDRO)* caractérise l'aléa comme un évènement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée d'un phénomène pouvant engendrer des dommages. De toutes ces sources, il ressort que l'aléa est caractérisé par la combinaison de deux composantes, l'une fréquentielle (occurrence) et l'autre spatio-temporelle. La composante fréquentielle fait référence à la probabilité que survienne un phénomène naturel d'occurrence donnée sur un lieu. La seconde décrit l'intensité du phénomène. Dans le cas d'espèce, l'aléa est perçu comme un évènement menaçant les sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi.

Analyse spatiale : L'analyse spatiale des données est un domaine ancien et vaste qui regroupe de nombreuses méthodologies, certaines générales et d'autres plus spécifiques à un champ thématique précis. Les logiciels SIG classiques sont donc loin d'être les seuls outils employés en analyse spatiale. Certains viennent de la géostatique par exemple ou des champs thématiques comme l'écologie du paysage. Dans le domaine des SIG, on appelle parfois Géotraitements ces fonctions analytiques. Certaines se réalisent en mode vecteur, d'autres en mode raster, d'autres encore fonctionnent dans les deux modes. Parmi les fonctions générales susceptibles de s'appliquer dans différents domaines, on peut lister les traitements géométriques d'union et d'intersection, les mesures et calculs de distance euclidienne, de distance coût ou selon un réseau, les analyses de contiguïté et de voisinage, les calculs statistiques, l'algèbre de cartes, l'interpolation spatiale et la géostatistique, les analyses de distribution spatiale, de densité et de potentiel. L'analyse spatiale permet de résoudre des problèmes liés aux emplacements complexes et de mieux comprendre ce qui se passe dans le monde, et à quel endroit. Elle va au-delà de la simple cartographie, en permettent l'étude des caractéristiques des endroits et de la relation qui existe entre eux. L'analyse spatiale ajoute de la perspective à une prise de décision. L'analyse spatiale est l'un des aspects les plus fascinants et remarquables des systèmes d'Information Géographique (SIG). Grâce à l'analyse spatiale, on peut combiner les informations de nombreuses sources et générer un jeu d'informations totalement nouveau, en appliquant un ensemble d'opérateurs spatiaux élaboré. Cet ensemble complet d'outils d'analyse spatiale peut aider à trouver des réponses à des

questions complexes. L'analyse spatiale est donc un ensemble de démarches qui visent à décrire l'organisation des structures matérielles de l'espace et les manières dont il est occupé (Arnaud, 2008). L'analyse spatiale de l'information représente l'outil le plus puissant d'un SIG. Ce système permet de faire des fonctions de requête et de mesures, de superposition, de proximité.

Assainissement : Selon l'OMS (2004), c'est la technologie la moins coûteuse qui assure l'évacuation hygiénique des excréments et des eaux ménagères ainsi qu'un milieu de vie propre et sain tant à domicile que dans le voisinage des utilisateurs. Pour Porter (2011), l'assainissement représente l'ensemble des techniques d'évacuation et d'épuration des eaux usées et des eaux de ruissellement, qui proviennent en majorité des eaux de pluies. D'après Chabi Kenou (2012), il empêche la survenue des maladies liées à un milieu malsain. Dans le cadre de cette étude, c'est l'ensemble des stratégies mises en œuvre par tous les acteurs (comité de gestion, usagers, ONG, collectivité locale), pour rendre l'environnement des ouvrages hydrauliques propres, sains et exempts de maladies.

Base de données : C'est un ensemble structuré de données, enregistrées avec un minimum de redondance sur des supports accessibles par l'ordinateur, pour satisfaire simultanément plusieurs utilisateurs de façon sélective en un temps opportun (Attolou, 2011).

Danger et risque : Le risque c'est la probabilité qu´un effet spécifique se produise dans une période donnée. Le risque devient alors la valeur quantifiée des personnes et des biens perdus au cas où l'événement surviendrait (Arreghini et *al.,* 2004 ; OMS, 2002 ; Manche, 2000).
Dans la Commune de Kandi, il ne s'agit pas d'évènement se produisant de manière aléatoire à un instant donné, mais d'un état de l'environnement susceptible de dégrader les sources d'approvisionnement en eau et de provoquer des nuisances, des maladies chez les usagers. Par contre, le danger constitue une menace à la sureté ou à l'existence des personnes, des besoins ou de l'environnement (Torterotot, 1993). Le danger est donc l'origine ou la source du dommage. Le danger signifie dans cette étude, les éléments présents dans les eaux ; leurs consommations et les éléments biologiques (moustiques, microorganismes, etc.) susceptibles de porter atteintes à la population avoisinante. Le risque concerne le nombre de personnes exposées aux dangers.

Eau de boisson : Peut être définie, en se référant à l'OMS / UNICEF, comme une eau ne renfermant en quantité dangereuse, ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent (Bontoux, 1993). Une eau de boisson salubre est perçue comme une eau utilisée à des fins domestiques, la boisson, la cuisine et l'hygiène personnelle. Un accès idéal à l'eau de boisson signifie que la source d'eau est située à moins d'un kilomètre de l'endroit de son utilisation conformément aux exigences de base et qu'il est possible d'obtenir régulièrement au moins 20 litres d'eau par habitant et par jour (Assouma, 2003 ; Bontoux, 1993).

Eau potable : C'est une eau ayant des caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'OMS ou aux normes béninoises relatives à la qualité de l'eau de boisson (Djafarou et *al.,* 2013 ; Assani, 1995 ; Maystre et *al.,* 1993). L'accès à l'eau potable est indiqué par la proportion de personnes qui utilisent des sources d'eau potable améliorées : raccordement à domicile ; bornes fontaines publiques ; puits protégés ; sources protégées ; eau de pluie. L'eau est considérée comme conforme après examen de 62 critères de potabilité. On contrôle par exemple la présence des nitrates (le taux doit être inférieur à 50 mg/l). Une **«** eau potable » est une eau dont la composition et les qualités sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs.

Eau polluée : C'est une eau dont les qualités physiques sont altérées par l'introduction des substances qui provoquent sa turbidité, une couleur indésirable, un mauvais goût ou une mauvaise odeur (Assouma et *al.,* 2001 ; Assani, 1995).

Environnement : Usuellement, l'environnement désigne tout ce qui nous entoure, qui agit sur l'homme et sur lequel l'homme agit. C'est donc l'ensemble des agents physiques, chimiques, biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme sur les organismes vivants et leurs activités humaines.
Au Bénin, selon la loi cadre sur l'environnement, c'est l'ensemble des éléments physiques, chimiques, biologiques et des facteurs socio-économiques et culturels dont les interactions influent sur le milieu ambiant, sur les organismes vivants, sur les activités humaines et conditionnent le bien-être de l'homme.
Linéament : Un linéament (du latin *linaementum*, « ligne ») est un alignement structural de dimension variée correspondant à un accident de l'écorce terrestre dont l'influence se fait sentir sur des millions d'années au cours de phases tectoniques successives. Typiquement un

linéament comprend une vallée, une ligne de côte droite ou une colline formée à partir d'un alignement de failles ou de plis, voire une combinaison de tous ces éléments. Des zones de fractures, des zones de cisaillement et des intrusions ignées telles que les ‘’dykes’’ peuvent également donner lieu à des linéaments (Oussou, 2015). Les linéaments sont souvent apparents sur les cartes géologiques ou topographiques et peuvent être mis en évidence sur les photos aériennes ou par satellite. Un méga linéament atteint des centaines de kilomètres, voire l'échelle continentale (Oussou, 2015 ; Assouma, 2011).
Dans le cadre de cette thèse, les filtres directionnels de Sobel (de types 7×7) ont été utilisés pour identifier les linéaments, et ont permis de mieux les discriminer, et de cartographier l’essentiel des linéaments dans la Commune de Kandi.

Pollution : La pollution de l’eau survient lorsque des matières sont déversées dans l’eau qui en dégrade la qualité (Djafarou et *al.,* 2013 ; Assouma et *al.,* 2001). Mieux, la pollution de l'eau signifie toute modification défavorable, chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants (Degbey et *al.,* 2008).

Sensibilité : C’est le degré auquel un système exposé est touché par les impacts du risque (Maurizot *et al.,* 1995). Selon la DG Eau (2010), la sensibilité d’un captage est le risque que la ressource en eau captée soit polluée par les activités humaines. La sensibilité peut varier dans le temps en fonction de l’évolution des activités humaines et de l’occupation des sols dans le bassin d’alimentation du captage.

Source d’eau : C’est un endroit où une eau sort naturellement de terre. C’est aussi un point de jaillissement d’une eau souterraine. C’est également un lieu d'apparition et d'écoulement d'eau souterraine à la surface du sol. Elle est toujours liée à l'existence d'une nappe et peut être située au mur ou au toit du réservoir aquifère. Les sources présentent généralement les qualités de l'eau souterraine, tout en permettant une exploitation aisée. Leur présence est étroitement liée à la géologie du terrain. Une source d’eau se trouve généralement à l’origine d’un cours d’eau, mais des sources peuvent alimenter des mares, des lacs ou s’écouler directement en mer (Degnidé, 2004). Leur eau peut aussi disparaître rapidement dans le sol. Une source d’eau nait de la conjonction de facteurs topographiques et hydrogéologiques (Assouma, 2011). Si une source coule en permanence elle est dite pérenne. La source est un élément de l’hydrosphère et du cycle de l’eau.

Système d'Information Géographique (SIG) : Il peut être défini comme un système de gestion de base de données conçu pour saisir, stocker, manipuler, analyser et afficher des données à référence spatiale en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification (Diallo, 2008 ; Collet, 1992). Un SIG est un outil qui grâce à l'informatique, permet de stocker de nombreuses données localisées de sources variées, de mieux les structurer, de les croiser, de les analyser et de les restituer sous forme graphique en fonction du but et des besoins visés (Diallo, 2008). Selon Thériault (2001) « Un Système d'Information Géographique (SIG) est un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale, utilisé pour saisir, gérer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs ».
Dans le cadre cette recherche, cet outil a été utilisé pour trouver des solutions aux difficultés d'accès aux ressources en eau des populations dans la Commune de Kandi.

Vulnérabilité : La plupart des définitions proposées sur la vulnérabilité intègrent souvent les notions d'aléa et d'enjeux. Poulard et *al.*, (2009) définissent la vulnérabilité comme la sensibilité des enjeux à l'aléa, dépendant de la valeur nominale des biens et du niveau de l'activité économique. Selon Dauphiné (2001), la vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné. Elle est modulable et évolutive en fonction de l'activité humaine. Dans ce contexte, il est important de caractériser la résistance (sa capacité à résister face à un événement non souhaité) et la résilience (sa capacité à récupérer un fonctionnement normal suite aux conséquences d'un événement non souhaité) du système. La résilience mesure la capacité du système à absorber le changement et à persister au-delà d'une perturbation. La vulnérabilité d'un système sera d'autant plus faible que sa résilience sera grande. Hostache (2006) qualifie la vulnérabilité comme étant l'importance des dommages potentiellement subits par des enjeux soumis à l'aléa d'intensité donnée. Torterotot (1993) précise que les dommages ainsi occasionnés peuvent être regroupés en trois groupes que sont : les pertes en vie humaine et les effets sur la santé des personnes ; les dégâts matériels et enfin les impacts liés aux difficultés de fonctionnement, d'échange et de communication. Il ressort de tout ce qui précède que la notion de vulnérabilité concerne les conséquences néfastes c'est-à-dire les dommages. En d'autres termes, c'est le degré de pertes qui peut affecter les populations, les habitations ainsi que les infrastructures publiques et privées sur une zone d'intérêt. Selon la DG Eau (2010), la vulnérabilité d'un captage est l'inaptitude des formations géologiques et du contexte

hydrogéologique local à protéger la ressource en eau captée par l'ouvrage. La vulnérabilité ne dépend que de facteurs naturels, elle est en principe invariante dans le temps.
Dans le cadre de cette thèse, la vulnérabilité des ouvrages d'approvisionnement en eau est perçue comme une fragilité des infrastructures hydrauliques face aux diverses intempéries capables de porter atteintes à la qualité des sources d'eau et de les dégrader.

1.1.5- Revue de littérature

Cette revue de littérature s'articule autour de trois axes à savoir : l'état des lieux des sources d'approvisionnement en eau ; les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et les maladies hydriques et enfin l'identification des sites de forages par approche géomatique.

1.1.5.1- Etat des lieux des sources d'approvisionnement en eau

L'eau occupe une place essentielle dans un monde de plus en plus urbanisé, exposé à des risques croissants où la population augmente chaque jour (Hounguevou et *al.,* 2014b). Les besoins en eau dans la vie deviennent de plus en plus importants. Ce constat prend toute son importance dans les pays du sud en général et au Bénin en particulier. En effet, au début des années 80, le Bénin s'est fixé pour objectif la couverture à 80 % des besoins en eau potable des populations rurales grâce au service de la Direction Générale de l'Eau (DG Eau) et à 100 % celui des populations urbaines par le biais de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) (Koudoufio, 2011). Malgré ces efforts, toutes les Communes du Bénin ne sont pas encore pourvues en eau potable, l'accès et la disponibilité des ressources ne sont pas les mêmes selon que l'on est en milieu rural ou en milieu urbain (INSAE/RGPH3, 2003). C'est dans ce contexte que, plusieurs ouvrages hydrauliques ont été réalisés pour le bien-être des populations rurales et semi-urbaines à travers l'exécution des programmes d'hydrauliques villageoises. Malgré l'exécution de ces infrastructures, les populations éprouvent toujours de difficultés à avoir un accès aux ressources en eau de bonne qualité (Hounguevou, 2013 ; Assouma, 2011 ; Magbondé, 2004). Une étude réalisée par Hounguevou et *al.,* (2014b) dans la Commune de Zè, montre que 47 % des infrastructures hydrauliques sont composés de forages, 46 % des puits modernes et 7 % des sources aménagées. Il ressort de cette répartition, une proportion presque égale des Puits Modernes à grand diamètre (PM) et des Forages dotés de Pompes Manuelles (FPM), alors que les sources aménagées sont en nombre réduites. Cependant, certaines de ces infrastructures sont hors d'usage ou non fonctionnelles (Hounguevou et *al.,* 2014b). Au terme de cette étude, il ressort que les infrastructures hydrauliques sont inégalement réparties sur le territoire de la Commune de Zè. Cette situation

entraine dans le milieu une insuffisance de sources d'approvisionnement en eau et amène la population à s'approvisionner au niveau des rivières et des plans d'eau (Hounguevou et *al.,* 2014b). Dans le même ordre d'idée, Djafarou et *al.,* (2016) dans leurs travaux sur la distribution spatiale des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi au nord du Bénin, ont montré que 59 % des ouvrages hydrauliques sont constitués de Forages équipés de Pompe à Motricité humaine (FPM), 31 % sont faites de Puits Modernes à grand diamètre, 9 % de Bornes Fontaines (BF) et 1 % de Forages Contre Puits (FCP). Cette étude est parvenue à conclure que les infrastructures hydrauliques sont inégalement réparties sur le territoire communal de Kandi. Cette mauvaise spatialisation des sources d'eau conduit souvent certains usagers à exploiter les sources d'eau inappropriées (retenue d'eau, mare et cours d'eau). Magbondé (2004) souligne dans ses travaux, que les populations de Ganvié (cité lacustre), s'approvisionnaient de façon traditionnelle en eau de consommation à travers les marigots des villages d'alentours, la lagune, ou descendaient jusqu'à Abomey-Calavi précisément à Gbodjo à la recherche d'eau d'alimentation. Dans le même registre, Babadjidé et *al.,* (2013) à partir de leurs études sur la qualité des eaux consommées par les populations et les maladies hydriques dans la Commune de Kétou au Bénin, ont montré que la pluie, les rivières, les puits, les retenues d'eau et les forages constituent les sources d'approvisionnement en eau des populations. Ces travaux ont abouti à la conclusion que les eaux consommées par les communautés sont polluées par des substances organiques. La présence de ces substances est due à une pollution organique probablement issue des déchets d'origine animale, humaine ou par les effluents chargés de fertilisants et de pesticides. Pour Boubakar (2010), les sources d'alimentation des populations concernent les puits, les forages et les sources. Selon l'auteur, la plupart des puits subissent des influences extérieures (poussières, pluies, eaux de ruissellement, déchets solides, excréments, feuilles d'arbres). Kanohin et *al.,* (2012*)* en Côte d'Ivoire ont relevé dans leurs études, l'inégale répartition des points d'eau dans la région de Daoukro. Selon ces auteurs, les communautés de cette région s'alimentent à partir des forages, des puits et des sources non protégées. Abordant la problématique de la qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo, Assani et *al.,* (1995) ont montré que la Sous-Préfecture (Commune) de Grand-Popo fait partie des régions au Bénin les moins couvertes en matière d'approvisionnement en eau potable. Selon la même source, la nature hydrogéologique ne permet pas aux activités de la Direction Générale de l'Eau d'aboutir à des résultats escomptés en matière de réalisation des forages. En effet, les forages réalisés par les services hydrauliques ont atteint la nappe d'eau salée. Les communautés se contentent de consommer l'eau des puits artisanaux qui sont peu profonds.

Ainsi, cette Commune est sujette à de fréquente inondation, les conditions d'hygiène et d'assainissement sont précaires. Les conditions de recueil, de transport, de stockage et manipulation de l'eau de boisson peuvent contribuer à la pollution de l'eau. La plupart des auteurs cités ont montré que l'inégale répartition et la mauvaise spatialisation des sources d'eau conduisent les usagers à exploiter des sources d'eau inappropriées.

1.1.5.2- Système d'Information Géographique (SIG) et maladies hydriques

L'inéluctable raréfaction et l'inégalité croissante de la répartition des ressources en eau, conduisent en effet à une inquiétante dégradation de la qualité de l'eau qui a de lourde conséquence en matière de santé (Assouma, 2011 ; Kientga, 2008). Ainsi, dans les pays en développement, 80 % des maladies sont dues à l'eau, un africain sur deux souffre d'une maladie hydrique (Kientga, 2008). Les données concernant la santé sont de plus en plus cartographiées et constituent ainsi un support à la planification des programmes de lutte contre les épidémies (Kientga, 2008 ; OMS, 2002). Cette situation est favorisée par les progrès en matière de technologies informatiques. Celles-ci ont révolutionné le recours aux techniques de cartographie pour analyser et présenter les informations complexes sur la vulnérabilité et les risques de manière à faciliter leur compréhension et la prise de décisions (Kientga, 2008 ; Othingue, 2005 ; Waring et *al.,* 2005 ; OMS, 2001 ; Yilma et Malone, 1998). Les cartes établies grâce aux SIG qui sont, en fait, la synthèse d'analyses spatiales plus ou moins complexes, donnent alors une information visuelle facile à comprendre sur l'emplacement des zones sujettes à épidémies et des groupes de populations vulnérables (Kientga, 2008). Plusieurs études ont mis en évidence l'utilisation d'outils SIG dans le cas du paludisme ou malaria (Othingue, 2005 ; Wang *et al.,* 2005 ; Rakotomanana et *al.,* 2001 ; Rouamba, 2001 ; Jacqueminet et *al.,* 1992). En Afrique de l'ouest, des cartes réalisées à l'aide de l'outil SIG permettent de surveiller la dracunculose, l'onchocercose et la situation sanitaire et nutritionnelle (Kientga, 2008). Ces techniques permettent de communiquer une grande quantité de renseignements sous une forme simple et peuvent servir d'outils d'analyse (OMS, 2001). Aussi, les maladies transmissibles telles que le paludisme, la tuberculose, la trypanosomiase et les maladies de la cécité font l'objet d'une surveillance en vue d'une lutte pour leur éradication dans l'espace francophone d'Afrique de l'Ouest et Centrale depuis 1974 (Kientga, 2008). Dans le cadre de cette action, la coopération française a mis en place un système régional prédictif du risque d'épidémie par télédétection (image SPOT) en zone sahélienne et d'un Système d'Information Géographique (SIG) en partenariat avec l'OMS pour la surveillance des zones de résistance (Kientga, 2008). Dans la quête de solutions

viables et efficaces face aux risques auxquels la ville de Ouagadougou est exposée, Cissé (1997) a utilisé dans sa recherche, l'outil SIG afin de caractériser les secteurs de la ville en matière de pollution selon les déchets (solides, liquides). Les analyses thématiques ont permis de montrer que les secteurs périphériques comptaient le plus de sites de maraîchage, avaient les environnements les plus pollués par les dépôts d'ordures et les rejets d'eaux usées, présentaient les plus forts taux d'incidence de la diarrhée chez les enfants. Une autre étude réalisée par Yaméogo et *al.*, (2002) sur la pollution des ouvrages de captage de la ville de Ouagadougou a exploité dans une moindre mesure l'outil SIG. Les analyses thématiques et spatiales effectuées ont permis de montrer qu'il y a une relation étroite entre la pollution des sources d'eau et la proximité des latrines d'une part et d'autre part les rejets d'eaux usées du canal central traversant la ville et les usines.

1.1.5.3- Système d'Information Géographique (SIG) et gestion des ressources en eau

L'eau souterraine est une ressource naturelle vitale pour un approvisionnement en eau potable sûr et économique en milieu urbain et rural (Magesh *et al.*, 2012). Son identification sous-entend l'utilisation de plusieurs techniques en vue de reconnaître les zones hydrogéologiques capables de fournir des débits considérables (Oussou, 2015). La norme fixée dit qu'un forage positif donc susceptible d'être équipé doit fournir un débit supérieur ou égal à 0,7 m^3/h (Géohydraulique, 1985). L'identification des eaux souterraines vise à connaitre la répartition spatiale de la productivité des aquifères. La délimitation de la surface géographique dans l'optique de mieux orienter l'implantation des ouvrages d'eau s'exprime donc par une préparation de base de données c'est-à-dire des couches d'informations compilées capables de servir à la prise de décision (Oussou, 2015 ; Assouma, 2011).

L'utilisation de la télédétection par satellite pour les études des eaux souterraines est particulièrement stimulante parce que beaucoup d'informations identifiées par les satellites se sont indirectement révélées utiles par exemple à travers la reconnaissance de la surface végétative ou des zones de fracture (Meijerink, 2007). Son assemblage avec les données de terrain restitue de façon extraordinaire les conditions hydrogéologiques du milieu étudié. En effet, Il fut reconnu depuis des années que même dans les régions géologiquement bien connues, les images satellitaires apportent des données nouvelles, non seulement en faisant apparaitre de grandes unités lithologiques, mais aussi en montrant des failles et des linéaments qui ne sont pas connus (Chorowicz, 1984). Les aquifères de socle qui sont particulièrement intéressants dans l'approvisionnement en eau se situent dans les couches altérées et fissurées / fracturées de la roche cristalline (Dewandel *et al.*, 2006).

Au Bénin, l'observation de l'article 6 de la loi n° 2010 - 44 portant gestion de l'eau stipule que chaque citoyen béninois a le droit de disposer de l'eau pour ses besoins et les exigences élémentaires de sa vie et de sa dignité dans le socle béninois (80 % du territoire national) passe nécessairement par une exploitation à fond des données de la télédétection. Plusieurs auteurs ont utilisé une panoplie de méthodes pour comprendre, analyser et modéliser les ressources en eau (Yalo *et al.*, 2013 ; Mama, 2010 ; Yaméogo et *al.*, 2006 ; Jourda, 2005 ; Alassane, 2004 ; Lasm, 2000 ; Boukari, 1998 ; Castany, 1998 ; Le Barbé *et al.*, 1993 ; Maliki, 1993 ; Biémi, 1992). Dès lors, il est nécessaire de combiner les approches et de réviser de temps en temps ces techniques grâce aux avantages du SIG en vue d'une adaptation aux contraintes actuelles de variabilité climatique, de réchauffement global, de pollution. Kanohin et *al.*, (2012) ont essayé dans leurs études dans la région de Daoukro en Côte d'Ivoire, d'identifier des sites favorables pour implanter des forages à gros débits à l'aide de la télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG), afin de permettre une bonne couverture des besoins en eau. Smida et *al.*, (2006) ont utilisé le Système d'Information Géographique (SIG) afin d'identifier les zones perméables. Cette étude leur a permis de capitaliser des acquis car elle a révélé la réelle importance de cet outil. Pour ces derniers, l'apport du SIG réside dans ses grandes capacités de stockage, de traitement, d'analyse et de visualisation de données. Il s'agit d'élaborer une base de données géographiques et de déterminer les zones les plus favorables à la recharge. Au Centre Est du désert égyptien, le potentiel en eau souterraine fut apprécié à l'aide des techniques de télédétection et SIG en utilisant des couches comme la pente, le réseau hydrographique, les linéaments et la topographie. Le résultat final s'est avéré utile car révélant une partition de la zone d'étude en zone hydrogéologique très bonne (12.79 %), bonne (26.95 %), modérée (33.05 %) et faible (27.21 %) (Abdalla, 2012). Dans le district de Thieni, Tamil Nadu, les images satellitaires, les cartes topographiques et des données conventionnelles ont été utilisées pour générer des couches de lithologie, de densité de linéaments, de pente, de sol et d'utilisation du sol. La pondération de ces couches après intégration dans un SIG a permis de délimiter les zones du potentiel en eau souterraine catégorisées en très bon, bon, pauvre et très pauvre (Magesh *et al.*, 2012). Dans le bassin Vindhyan en Inde Central, les techniques de télédétection et SIG ont été utilisées pour évaluer le potentiel en eau souterraine. La pondération de quatre paramètres (lithologie, pente, drainage, et densité des linéaments) qui influencent la disponibilité en eau souterraine ont permis de cartographier les différentes zones de prospections hydrogéologiques : très élevée (0.77 %), élevée (35.57 %), modérée (54.53 %) et pauvre (9.13 %) (Ndatuwong et Yadav, 2014). Le nombre de facteurs utilisés et les seuils considérés ne

sont pas standards c'est-à-dire varient d'une étude à une autre et adaptés chaque fois aux conditions climatiques et géologiques spécifiques du milieu de recherche. Au Bénin, plusieurs écrits Sintondji *et al.*, (2013) ; Kodja *et al.*, (2012) ; Awoyé (2007) ; Bossa (2007) ; Boko (2004) et Vissin (1998) ont élucidé l'état des lieux des ressources en eau du bassin hydrographique et hydrogéologique. Oussou (2015) dans son étude a également exploité les techniques de télédétection spatiale et les SIG pour analyser et évaluer le potentiel en eau souterraine du bassin du Zou. Il ressort de cette étude que les aquifères affichent généralement un potentiel faible à modéré (82,62 %). L'apport des linéaments de direction majoritaire N0 à N70, N150 à N180 et minoritaire N80 à N140 et l'épaisseur d'altérite améliorent le potentiel par endroit jusqu'à atteindre un niveau bon à très bon (13,14 %). Les forages implantés (environ 36 % de négatif) affichent un potentiel hydraulique très faible à modéré de 81,05 % qui ne cachent guère les difficultés d'accès à l'eau souterraine.

Le présent travail s'inscrit dans un schéma presque similaire d'analyse du potentiel en eau dans la Commune de Kandi mais prévoit d'utiliser les avantages de la télédétection et les SIG pour apporter des solutions aux divers problèmes liés à l'exploitation des ressources en eau. Cette partie a présenté l'état des lieux sur les questions liées à l'approvisionnement en eau des populations et exposé la situation sur la gestion des ressources en eau au Bénin et dans le monde. Cependant, l'élaboration d'un cadre conceptuel de l'étude et la description d'une approche méthodologique s'avèrent primordiale.

1.2- Cadre conceptuel de l'étude

Pour aborder la situation de la qualité de l'eau des sources d'approvisionnement en eau et le comportement des différents acteurs de l'eau dans la Commune de Kandi, le présent cadre conceptuel a été élaboré (figure 1).

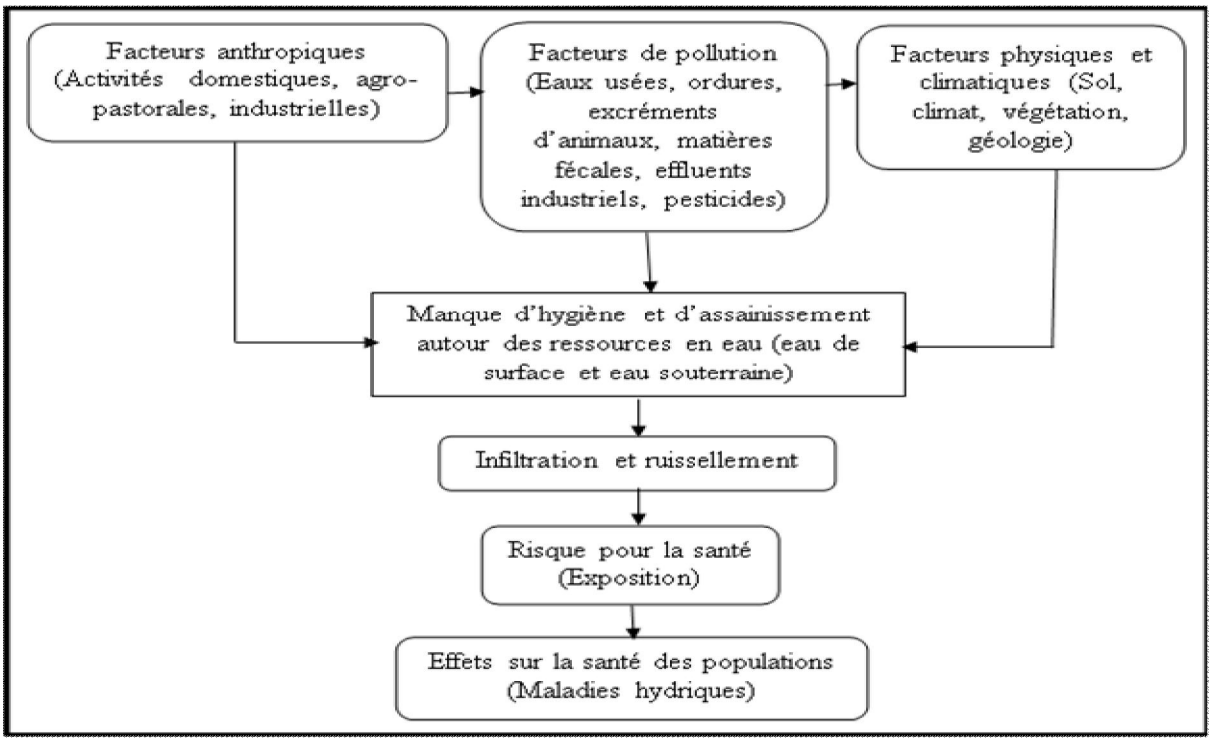

Figure 1 : Cadre conceptuel des facteurs associés à la qualité des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi. / **Source** : (Dégbey et *al.*, 2010 ; Assouma et *al.*, 2001 ; Assani, 1995) et travaux de terrain, 2016

La qualité des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi est influencée par les facteurs anthropiques (Activités domestiques, agro-pastorales, industrielles), physiques et climatiques (sol, climat, végétation et géologie) et les facteurs exogènes ou de pollution (dépotoirs sauvages de déchets solides et liquides, les excréments d'animaux, les matières fécales et les eaux usées). Les facteurs exogènes peuvent être sources de pollution bactériologique et chimique de l'eau de boisson. La variable dépendante de notre étude est la qualité de l'eau des ouvrages hydrauliques exploités par les différents acteurs (ménages, éleveurs, agriculteurs, pêcheurs) et ses effets sur la santé. Les variables indépendantes représentent les variables contribuant à la détermination de la qualité de l'eau et les risques sur la santé. Ce sont :

- Les paramètres physico-chimiques liés à la composition naturelle des eaux : la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la salinité, les chlorures, les sulfates et l'aluminium ;
- Les paramètres des substances indésirables : les nitrates, les nitrites, l'ammonium, l'oxydabilité au $KMnO_4$, le fer, le cuivre, le zinc, le phosphore, le fluor, le chlore, la dureté totale, le calcium, le magnésium ;

- Les paramètres des substances toxiques : l'arsenic, le cadmium, le chrome total, le mercure et le plomb ;
- Les paramètres bactériologiques par la recherche des coliformes et des streptocoques fécaux, l'E. Coli, et le clostridium perfringens ;
- Les facteurs environnementaux que sont : la source d'eau elle-même, le mode d'évacuation des excréta, la distance entre la source d'eau et le ménage, la distance et la position des ouvrages d'eau par rapport aux latrines, les excréta humains et animaux, les dépotoirs sauvages, le dispositif de protection des ouvrages d'eau, les méthodes de recueil, de transport et de stockage, le sol (perméabilité vers les nappes phréatiques) ;

- Les facteurs de la santé : l'état de santé au niveau des ménages et des autres acteurs, les plaintes déclarées (présence de symptômes intestinaux, maladies hydriques) et les maladies liées à l'eau de boisson relevées dans les registres des centres de santé de la Commune de Kandi.

Conclusion partielle

Cette partie a présenté l'état des lieux sur les questions liées à l'approvisionnement en eau potable des populations de la Commune de Kandi, exposé la situation sur la gestion des ressources en eau au Bénin et dans le monde. Les sources d'approvisionnement en eau subissent des menaces anthropiques. Cette situation favorise la prolifération des maladies d'origine hydrique. Cependant, une description de la méthodologie s'avère primordiale.

Chapitre 2 : Démarche méthodologique

L'approche méthodologique adoptée repose essentiellement sur l'acquisition des données, le traitement et l'analyse des données sur la base des principes de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) couplés aux investigations socio-économiques du milieu de recherche. Par ailleurs, cette approche tourne autour de la caractérisation, la typologie des sources d'approvisionnement en eau des populations, de l'analyse de l'environnement des sources d'alimentation en eau et des facteurs contribuant à leur dégradation et enfin l'analyse des paramètres physiques susceptibles de permettre l'identification des zones favorables à l'implantation de forages.

2.1- Méthodes de collecte des données

Elles sont relatives aux enquêtes de terrain, aux collectes des données pluviométriques, cartographiques, aux données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau, aux éléments de l'environnement liés à leurs vulnérabilités et enfin les données du milieu physique qui concourent à l'identification des zones favorables au forage.

2.1.1- Collecte des données d'enquêtes socio-économiques

Elles concernent les outils de collecte, l'échantillonnage et les données collectées. Dans le cadre de cette thèse, les données d'enquêtes socio-économiques ont été collectées auprès de différents acteurs par interview individuel ou par focus group. Les outils de collectes utilisés sont le questionnaire pour les enquêtes individuelles auprès des différents acteurs à savoir les ménages, agriculteurs, éleveurs, pêcheurs et le guide d'entretien pour les focus group (Annexe I). La collecte de données s'est déroulée en deux phases : la première phase s'est tenue de décembre 2015 à janvier 2016 et la seconde de mars à avril 2016 dans les dix arrondissements de la Commune de Kandi.

Les levés GPS des sites enquêtés ont été pris pour la cartographie de ces zones (figure 2). Les enquêtes de terrain ont été menées dans les localités où les échantillons d'eau ont été prélevés et dans certains hameaux environnants auprès des ménages, des éleveurs transhumants, des agriculteurs et des pêcheurs.

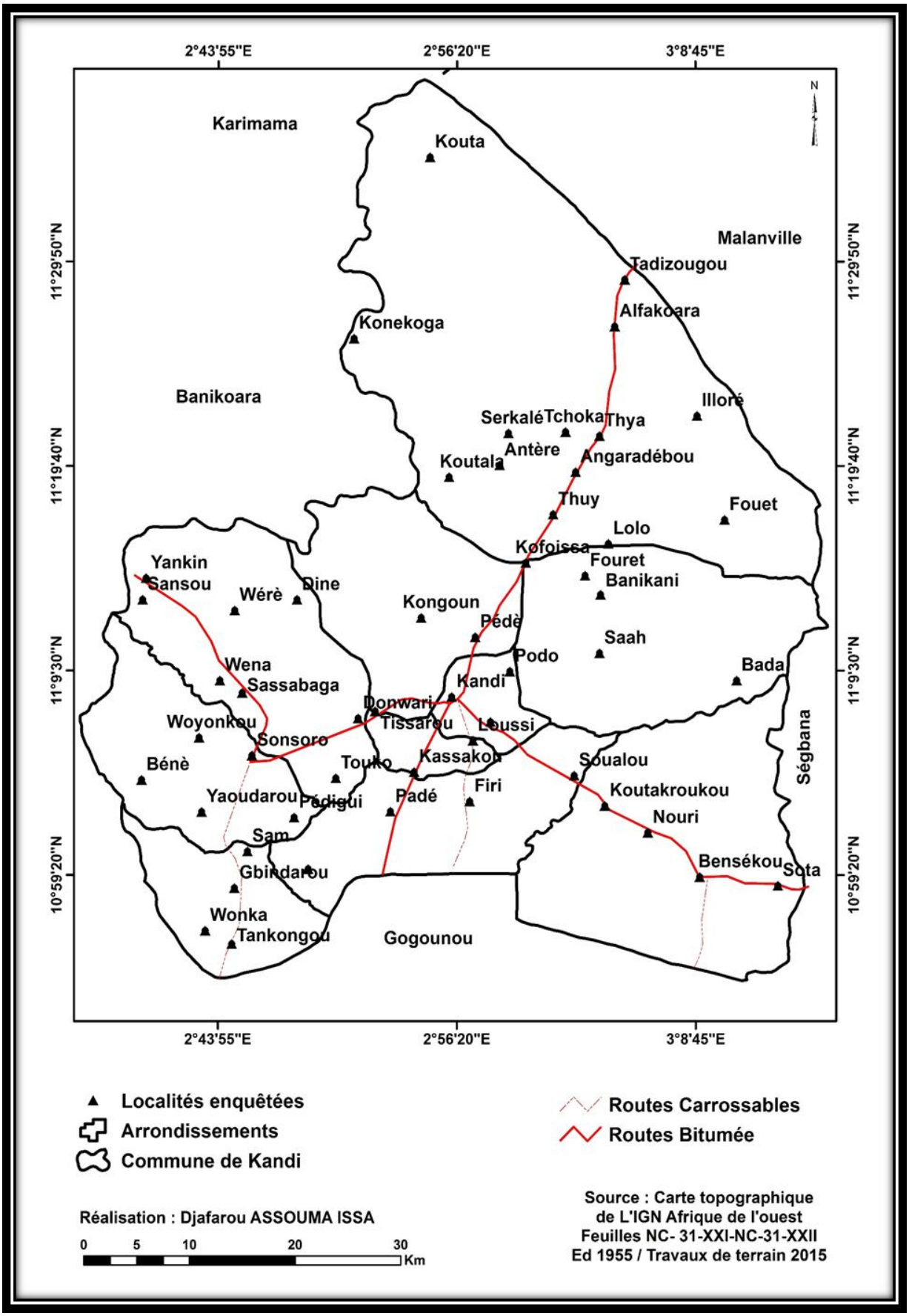

Figure 2 : Répartition géographique des localités d'enquête de la zone de recherche / **Source** : Données de terrain collectées 2015-2016

A travers cette figure 2, tous les arrondissements sont couverts par les enquêtes. Avec les ménages, les données ont été collectées sur les types de sources d'approvisionnement en eau utilisées, leurs pérennités dans le temps, leurs localisations, leurs accessibilités, les activités exercées à proximité de la source et leurs impacts sur la qualité de l'eau, l'occurrence des conflits au niveau des points d'eau et leurs mode de gestion ainsi que les maladies hydriques y afférentes.

En ce qui concerne l'échantillonnage, 330 ménages dans la Commune ont été enquêtés suivant un choix raisonné. Avec la complicité des élus locaux, des sages et personnes ressources, dix focus group composés de neuf à onze participants selon le nombre de ménages par arrondissement ont été organisés (Annexe II). Au total, cent participants ont pris part à ces focus group. Ces focus group réalisés ont permis d'identifier avec ces acteurs les Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM ou SWOT).

En ce qui concerne les autres acteurs directs à savoir : les agriculteurs, éleveurs et pêcheurs, la taille de l'échantillon au niveau de ces catégories d'acteurs a été définie de manière aléatoire mais en tenant compte de trois critères : zone de forte production de coton, zone à élevage extensif et zone disposant de retenues d'eau ou de mares.

Ainsi, 300 acteurs ont été interviewés à raison de 100 agriculteurs, 100 éleveurs et 100 pêcheurs dans les dix arrondissements de la Commune et ceci faute de statistiques sur leurs effectifs (Annexe III).

Concernant les agriculteurs, les questions individuelles abordées ont porté sur les types de cultures de rentes et vivrières, l'utilisation des engrais et herbicides, les types de points d'eau utilisés, les activités pratiquées et leurs impacts sur les points d'eau, l'occurrence des conflits au niveau des points d'eau et leurs mode de gestion, la gestion de la ressource ainsi que les maladies liées à l'eau.

Avec les éleveurs, les données collectées ont porté sur les types d'élevage, le type de point d'eau utilisée pour l'abreuvement, la pérennité du point d'eau, la divagation des animaux aux abords des points d'eau et ses impacts, l'occurrence des conflits au niveau des points d'eau et leur mode de gestion, le mode de gestion des points d'eau et les maladies hydriques.

Enfin, avec les pêcheurs, les données collectées ont porté sur l'utilisation des produits chimiques et leurs impacts sur la qualité de l'eau, l'occurrence des conflits et leurs modes de gestion, la gestion de la ressource et les maladies hydriques. La suite des travaux s'est poursuivie par observation sur le terrain.

Collecte des données pluviométriques

Elles concernent, les hauteurs de pluies mensuelles et annuelles de la période 1985-2015 de la Commune de Kandi. Ces données ont été collectées au service de la météorologie à Kandi et à l'ASECNA de Cotonou.

2.1.2- Collecte des données cartographiques

Pour les données sur la cartographie des sources d'approvisionnement en eau, la recherche des documents planimétriques a consisté à faire l'état des lieux des différents documents cartographiques récents couvrant la Commune de Kandi. Un inventaire exhaustif des cartes topographiques, des cartes thématiques, et des images satellites disponibles sur le secteur d'étude a été fait. Ces différents documents cartographiques ont été évalués à partir de leur date d'édition, leur échelle et la qualité des informations afin de décider ou non de leur utilisation dans le cadre de cette thèse. Cet inventaire a été fait au niveau du Centre National de Télédétection et de surveillance du couvert végétal (CENATEL), de l'Institut Géographique National (IGN), des Laboratoires spécialisés de l'Université d'Abomey-Calavi et des sites internet spécialisés tels que *Global Land Cover Facility* (GLCF) et *Google Earth*.

2.1.3- Collecte des données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau

Les données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau sont liées à celles relatives aux types d'ouvrages d'eau, à leurs positions géographiques et leurs accessibilités aux populations. Un inventaire exhaustif par type d'ouvrages hydrauliques par arrondissement a été fait par le Service Eau de l'Alibori à Kandi. Cet inventaire a été complété par les investigations sur le terrain. Ainsi, les différentes sources d'approvisionnement en eau identifiées sont : le réseau d'adduction d'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB), les Puits Modernes à grand diamètre (PM), les Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM), les Bornes Fontaines (BF), les Puits Traditionnels (PT) et les sources non protégées (mares, retenues d'eau et cours d'eau).

Les levés des limites des différents types d'ouvrages hydrauliques ont été collectés au Service Eau et actualisés sur le terrain à l'aide d'un GPS de marque GARMIN (GPSMAP 62s) de résolution spatiale 3m. Le GPS est réglé sous le mode WGS 1984 UTM 31N. Pour une bonne couverture des besoins en eau, les données démographiques par arrondissement ont été collectées. Ainsi, la connaissance de la répartition spatiale de la population et du nombre de points d'eau fonctionnels par localité ont permis de calculer l'accès à l'eau potable des

communautés. Les données collectées pour la couverture des besoins en eau, l'accessibilité des populations aux sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi sont résumées dans le tableau I.

Tableau I : Données acquises et leurs usages pour la réalisation de l'objectif 1

Données collectées	Outils de collecte de données	Outils de traitement des données	Format d'acquisition	Echelle / Réso lution	Années	Source	Usages
Cartes topographiques (NC-31-XXI, NC-31-XXII)	Revue documentaire	Arc Map 10.3	Analogique	1/200 000	1955	IGN – Bénin / CENATEL	Digitalisation des couches (point, ligne et polygone)
Données quantitatives des ouvrages hydrauliques / démographiques	Revue documentaire	Excel	Analogique	-	2015 - 2016	Service Eau Kandi / DG Eau / Données RGPH4	Proportion des types d'infrastructures, taux de desserte et de panne par arrondissement
Données GPS des ouvrages d'eau	GPS / Google Earth	Arc Map 10.3 / *Select by location*	Numérique (tableau)	-	2015 - 2016	Service Eau Kandi / DG Eau	Spatialisation des ouvrages d'eau / Analyse spatiale
Données GPS des Puits Modernes à grand diamètre (PM)	GPS / Google Earth	*Polygon de thiessen*	Numérique (tableau)	-	2015 - 2016	Service Eau Kandi / DG Eau	Spatialisation des PM / Accessibilité des PM aux populations
Données GPS des Forages dotés de Pompes Manuelles (FPM)	GPS / Google Earth	*Polygon de thiessen*	Numérique (tableau)	-	2015 - 2016	Service Eau Kandi / DG Eau	Spatialisation des FPM / Accessibilité des FPM aux populations
Données GPS des Bornes Fontaines (BF)	GPS / Google Earth	*Polygon de thiessen*	Numérique (tableau)	-	2015 - 2016	Service Eau Kandi / DG Eau	Spatialisation des BF / Accessibilité des BF aux populations
Données d'enquêtes socioéconomiques	Question naires / guides d'entretien / Photo numérique	SPSS	Analogique	-	2015 - 2016	Travaux de terrain 2015 - 2016	Perceptions locales des acteurs sur les divers usages de l'eau.

Source : Travaux de terrain, 2015-2016

Le tableau I présente les données acquises, le format d'acquisition, l'échelle ou la résolution, l'année d'acquisition, la source et les différents usages.

Les données GPS des ouvrages d'eau collectées au Service Eau en 2015 et 2016 ont permis d'identifier les infrastructures hydrauliques et la réalisation des diverses cartes des ouvrages d'eau.

Les données démographiques recueillies en 2015 et 2016 à l'INSAE ont été exploitées pour la réalisation des graphiques (taux de desserte et de panne) par arrondissement.

Les cartes topographiques, feuilles (NC-31-XXI, NC-31-XXII) à l'échelle de 1/200 000 couvrant le milieu de recherche ont servi à extraire les informations (point, ligne et polygone).

Les enquêtes socio-économiques et focus group réalisés auprès des différents acteurs de l'eau ont permis d'avoir leurs perceptions sur les divers usages de l'eau.

2.1.4- Collecte des données pour la détermination de la vulnérabilité des ouvrages d'eau

Cette collecte concerne les données relatives à la qualité de l'eau des sources d'approvisionnement en eau des communautés, aux grosses immondices, aux latrines et fosses septiques et enfin aux statistiques sanitaires des maladies hydriques récurrentes dans la Commune de Kandi.

Pour ce qui concerne les infrastructures hydrauliques (eau souterraine), trente sites et seize retenues d'eau (eau de surface) ont fait objets de deux campagnes de prélèvements d'échantillons d'eau. La sélection des sites a été faite de façon à permettre une couverture aussi représentative que possible des différents arrondissements de la Commune de Kandi en priorisant les lieux publics et en tenant compte de l'affluence des usagers autour des points d'eau et l'état d'hygiène et d'assainissement aux alentours des lieux de prise des échantillons. Les prélèvements ont été effectués au niveau des Puits Moderne à grand diamètre (PM), des Puits Traditionnels (PT), des Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM), des Adductions d'Eau Villageoise (AEV) et d'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) dans les dix arrondissements. Ces prélèvements réalisés par les techniciens du laboratoire de la Direction Départementale de l'Hydraulique du Borgou et de l'Alibori se sont déroulés au moment des deux phases d'enquêtes socio-économiques. A l'issue des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau, des fiches techniques des résultats de ces échantillons d'eau ont été collectées (Annexe IV).

Par ailleurs, les coordonnées rectangulaires de ces infrastructures hydrauliques étudiées ont été prises lors des prélèvements à l'aide du GPS pour leur spatialisation sur le territoire communal. Ainsi, les sites de prélèvement des échantillons d'eau sont représentés dans la figure 3.

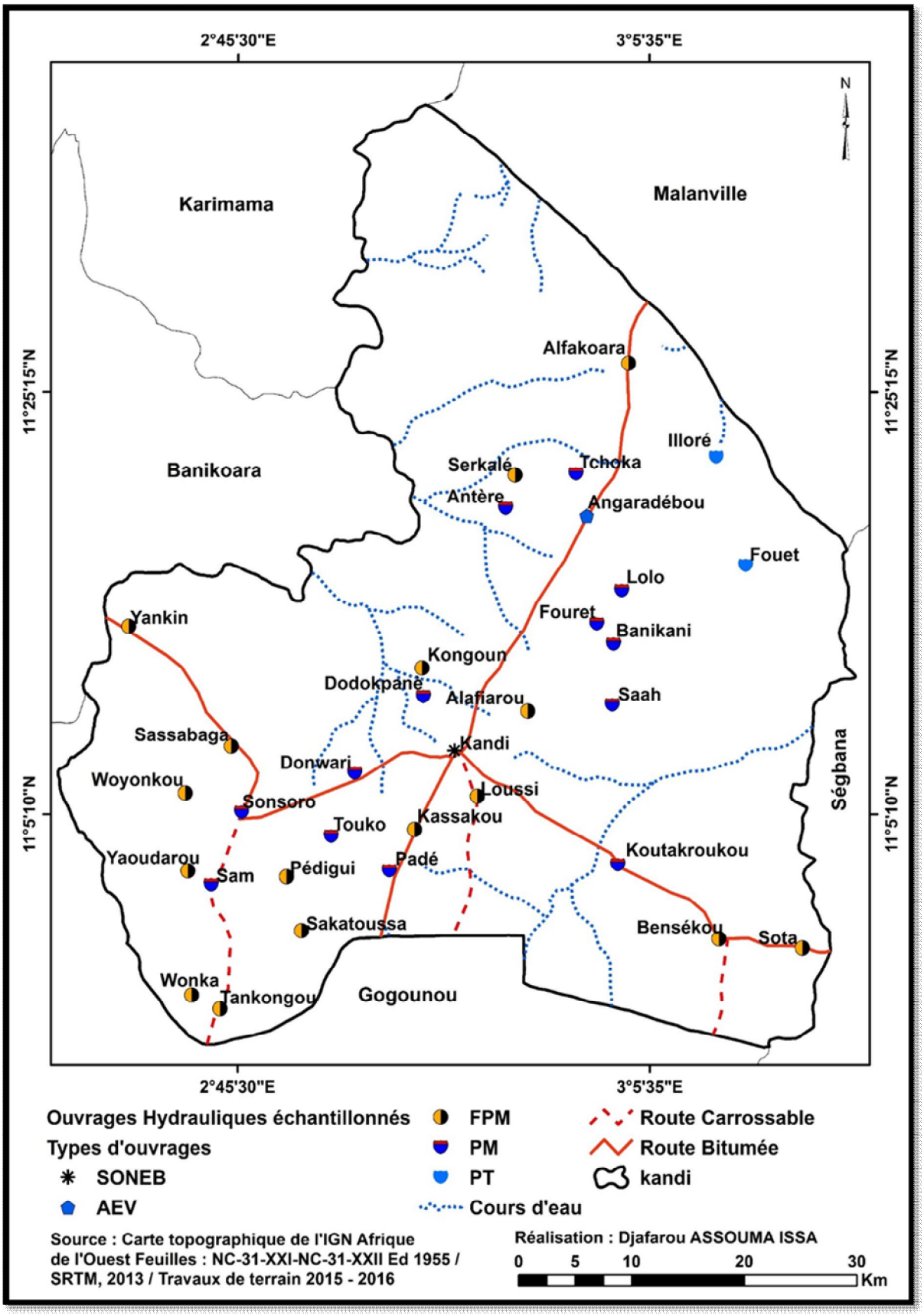

Figure 3 : Situation géographique des sites de prélèvement des infrastructures hydrauliques (eau souterraine) étudiées dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

Pour déterminer la vulnérabilité liée aux immondices (Annexe V) disséminées sur l'ensemble du territoire communal, les superficies de ces immondices ainsi que leurs coordonnées géographiques ont été relevées.

L'analyse de l'environnement des latrines (Annexe VI) aux sources d'approvisionnement en eau a nécessité la collecte des données auprès des ménages et la prise des données GPS de ces systèmes d'assainissement.

Pour analyser les impacts d'une consommation de l'eau de qualité douteuse sur la santé des communautés, les statistiques sanitaires des maladies hydriques (Annexe VII) de 2007 à 2016 par arrondissement ont été collectées à l'hôpital de zone à Kandi et au MSP / SNIGS à Cotonou. Les données utilisées pour la réalisation de l'objectif 2 sont résumées dans le tableau II.

Tableau II : Données acquises et leurs utilités pour la réalisation de l'objectif 2

Données collectées	**Outils de collecte de données**	**Outils de traitement des données**	**Format d'acquisition**	**Echelle / Résolution**	**Années**	**Source**	**Usages**
Relevés GPS des ouvrages d'eau étudiés.	GPS	Map source / Excel / Arc Map 10.3	Numérique (tableau)	-	2015-2016	Données de terrain	Spatialisation des infrastructures hydrauliques étudiées
Données d'analyse physico-chimiques et bactériologiques des ouvrages d'eau étudiés.	Fiche technique d'analyse au laboratoire de la DH à Parakou	Excel	Numérique	-	2015-2016	Laboratoire central de la DRH Parakou	Traitement des données
Relevés GPS des ouvrages d'eau étudiés	Fiche technique d'analyse au laboratoire de la DH à Parakou	*Extract by mask / IDW*	Numérique	-	2015-2016	Laboratoire central de la DRH Parakou	Vulnérabilité liée aux éléments physico-chimiques et bactériologiques
Relevés GPS des immondices et latrines publiques.	GPS	*Kreageage*	Numérique (tableau)	-	2015-2016	Données de terrain	Vulnérabilité des ouvrages hydrauliques liée aux éléments d'immondices
Données sanitaires des maladies hydriques.	Revue documentaire	Excel / *Extract by mask / IDW*	Numérique (tableau)	-	2015-2016	MSP / SNIGS	Occurrence des maladies hydriques.
Données d'enquêtes socioéconomiques	Questionnaires / guides d'entretien / Photo numérique	SPSS	Numérique (tableau)	-	2015-2016	Travaux de terrain	Perception des acteurs sur les divers usages de l'eau

Source : Travaux de terrain, 2015-2016

Le tableau II montre que cinq types de données ont été collectés suivant leur format, l'échelle, l'année, la source et les différents usages.

Les données GPS des ouvrages d'eau étudiés ont été relevées sur le terrain en 2015. Ces données ont permis d'avoir la carte de situation des sites de prélèvement des ouvrages d'eau étudiés.

Les données d'analyse physico-chimiques et bactériologiques des ouvrages d'eau étudiés ont été collectées au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydrauliques Borgou / Alibori. Elles ont servi à la réalisation des cartes de répartition des éléments physico-chimiques et bactériologiques des ouvrages d'eau étudiés.

Les relevés GPS des immondices et latrines disséminées dans la Commune de Kandi ont permis la réalisation de la carte de vulnérabilité des ouvrages d'eau.

Les données sanitaires sur les maladies hydriques par arrondissement de la Commune de Kandi collectées au MSP ont permis de cartographier l'occurrence de chaque maladie liée à l'eau.

2.1.5- Collecte des données pour la détermination des zones favorables aux forages

Les données collectées pour la détermination des sites propices à l'implantation des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi sont celles liées à l'aptitude hydrogéologique et au potentiel hydrodynamique du milieu de recherche.

Pour réaliser la carte d'aptitude hydrogéologique, deux images Landsat OLI/TIRS de résolution 30 m en mode multi-spectrale (XS) et 15 m en mode panchromatique (P) ont été téléchargées sur le site américain http://glcf.umd.edu/data. Les deux scènes Landsat ont servi à extraire les linéaments et la Longueur de Pente (LS.). Les cartes géologiques au 1/200000 du milieu de recherche est récupérée, géo-référencée et digitalisée pour extraire les limites des roches (lithologies).

Les données techniques sur les forages d'exploitation de la Commune de Kandi sont acquises auprès de la DG-Eau. Ces données ont permis d'extraire les informations sur l'épaisseur du recouvrement (altérite).

Les images ''*Shuttle Radar Topograph Mission*'' (SRTM) de résolution spatiale 90 m du milieu de recherche datant de 2013 ont été collectées sur le net pour produire le MNT (Annexe VIII) et extraire la densité de drainage.

L'analyse du potentiel hydrodynamique a nécessité l'utilisation des données hydrodynamiques (Annexe IX) telles que le niveau statique des PM, la transmissivité et le débit des forages. Ces données ont été obtenues au Service Eau de l'Alibori.

Le tableau III résume les données collectées, le format d'acquisition, l'échelle, la source et l'utilité des données.

Tableau III : Données acquises et leurs utilités pour la réalisation de l'objectif 3

Données collectées	Outils de collecte de données	Outils de traitement des données	Format d'acquisition	Echelle / Résolution	Années	Source	Résultats
Images Landsat OLI / TIRS	GPS	Module *LINE du logiciel PCI Géomatic* / Arc Map 10.3	Numérique (raster)	30 m en mode multi-spectrale (XS) et 15 m en mode panchromatique (P)	2013	http://glcf.umd.edu/data.	Densité linéamentaire / LS
Images SRTM	GPS	Hydrology / Arc Map 10.3	Numérique (raster) (Tiff)	-	2013	GLCF	Densité de drainage / MNT
Cartes Géologiques (NC-31-XXI, NC-31-XXII)	Revue documentaire	*ILWIS 3.3 et IDW*	Analogique	1/200 000	1955	IGN - Bénin	Facteur lithologique
Données des ouvrages hydrauliques	GPS	Excel / Kreageage	Excel	-	2015-2016	DG-Eau Bénin	Epaisseur du recouvrement (altérite) / Transmissivité/ Débit d'exploitation / Niveau statique.

Source : Travaux de terrain, 2015-2016

L'analyse de ce tableau III montre que :

Les images Landsat OLI/TIRS de format raster sont acquises en mode multi-spectrale (XS) de résolution 30 m sur le site http://glcf.umd.edu/data en 2013. Ces données ont permis l'extraction des linéaments et la Longueur de la Pente (LS).

Les images SRTM du milieu de recherche en format numérique de résolution 90 m acquises sur le site GLCF ont permis la réalisation du MNT et l'extraction de la densité de drainage.

Les cartes géologiques, feuilles (NC-31-XXI, NC-31-XXII) couvrant le milieu de recherche au format numérique à l'échelle de 1/200000 collectées à l'IGN Bénin ont servi à obtenir la lithologie.

Les données sur les forages sous format Excel recueillies à la DG Eau ont permis à déterminer l'épaisseur du recouvrement, la transmissivité, le débit d'exploitation et le niveau statique des ouvrages hydrauliques.

2.2- Méthode de traitement des données

Selon la nature des informations collectées sur le terrain, le traitement des données a été fait à l'aide des logiciels appropriés. Toutes les données collectées ont été traitées et regroupées par centre d'intérêts.

2.2.1- Traitement des données collectées

Les données d'enquêtes socio-économiques ont été dépouillées et codées avec le logiciel SPSS 18. Ce prétraitement a permis de mener diverses analyses. La taille de l'échantillon des ménages ayant fait objet d'étude au niveau de la zone de recherche a été déterminée à partir de la formule suivante (Schwartz, 1995) : $n = z^2.p.(1-p)/e^2$ avec n : la taille de l'échantillon ; z : le seuil de confiance de 95 % et z = 1,96 ; e : la marge d'erreur (10 %). Cette marge d'erreur varie de 0 à 20 % ; p : la proportion des ménages par arrondissement. Cette proportion p est donnée par la relation suivante :

$$p = \frac{\text{Effectifs des ménages sélectionnés}}{\text{Effectif des ménages de la commune}}$$

Les données démographiques telles que l'effectif de la population et la densité de population par arrondissement (Annexe X) (INSAE, 2013), ont été traitées par le tableur Excel et exportées aux tables attributaires disponibles après numérisation des couches point, ligne et polygone. Le logiciel d'analyse SIG Arc Gis 10.3 a facilité le traitement de ces fichiers, ce qui a permis d'afficher l'effectif de la population et la densité de population par arrondissement sur la carte.

Les données sur les hauteurs de pluie de dix stations météorologiques de la sous-région ouest africaine couvrant le milieu de recherche, extraites de FAO Clim www.faoclim.net, ont été traitées par Excel. Afin que toute l'aire soit couverte par les isohyètes, la méthode *''d'interpolation des points''* a été adoptée. Un tableau comportant les stations pluviométriques avec leurs coordonnées géographiques en longitude et en latitude, ainsi que les valeurs pluviométriques a été conçu et traité sous Excel. Ce tableau a été ensuite exporté dans Arc Map 10.3 et les données ont été interpolées en utilisant la méthode d'interpolation par *''Kriging de Spatial Analyst''*.

Les images *''Shuttle Radar Topograph Mission''* (SRTM) de résolution spatiale 90 m du milieu de recherche ont été exploitées. Ces données altimétriques ont été recueillies en 2013 par la navette spatiale américaine. Les opérations de « *mosaïckage* » ont été effectuées sur ces images pour couvrir le milieu de recherche. Après le *''mosaïckage''*, la qualité de l'image a été améliorée par le rehaussement du contraste en utilisant la technique *''d'équalisation de l'histogramme''*.

La carte du milieu de recherche a été ensuite superposée à l'image. La fonction *''Extract by mask de Spatial Analyst''*de Arc Gis 10.3, a été utilisée pour extraire les informations du

milieu de recherche pour réaliser le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le MNT est une représentation sous forme numérique du relief décrivant la géométrie de la surface terrestre (Sawagogo, 2008). Ce modèle numérique peut être composé d'entités vectorielles ponctuelles (points cotés), linéaires (courbes de niveau), surfaciques (facettes) ou représenté en mode raster (cellules).

Les feuilles topographiques NC-31-XXI-NC-31-XXII de 1955 analogiques du milieu de recherche ont été scannées sous format Tiff (*Tagged Image File Format*). Le fichier numérique résultant a été importé dans le logiciel *Integrate Land and Water Information System* (ILWIS 3.3) pour le géo-référencement. C'est une technique qui consiste à établir une relation entre les coordonnées (lignes / colonnes) des pixels d'une image et les coordonnées (X, Y) du terrain. La méthode utilisée est celle basée sur les points de référence. Cette opération a été ensuite complétée par un géocodage ou ré-échantillonnage. Le géocodage est une forme de redressement des données images ou cartographiques afin de les placer dans une grille de projection cartographique. Cette correction géométrique vise à faire passer l'image d'un système de coordonnées ligne/colonne à un système de coordonnées géographiques lui permettant d'être superposable à d'autres couches de données. L'approche utilisée est celle du ''*Nearest Neighbour*''. A la fin des corrections géométriques, l'image géo-référencée a été exportée sous format compatible au logiciel Arc Map 10.3 pour la numérisation des différentes couches. Ce processus a été possible grâce à l'interopérabilité entre les deux logiciels. A la fin de la numérisation, des erreurs ont été identifiées puis corrigées afin de respecter les relations topologiques entre les différentes couches.

En ce qui concerne les données pluviométriques (hauteurs de pluie mensuelles et annuelles), des méthodes de traitement spécifique ont été adoptées. Elles ont permis d'analyser l'organisation de l'espace géographique sur le plan de la pluviométrie, de mettre en évidence les liens existant entre la pluviométrie et les ressources en eau dans la Commune de Kandi. L'examen de la variabilité pluviométrique a été faite à l'aide des outils statistiques appropriés. Les tendances centrales (moyennes arithmétiques) et de dispersion (écart-type) ont été réalisées.

Paramètres de tendance centrale : Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique a été utilisée pour étudier les régimes pluviométriques. Elle est le paramètre fondamental de tendance centrale (Vissin, 2001) et s'exprime de la façon suivante :

$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi$ avec n = le nombre de variable, xi = hauteur de pluie.

La moyenne $\overline{X}$ a permis de caractériser l'état climatique moyen et de mettre au point quelques indices de dispersion.

Paramètres de dispersion : Ecart- type

Ils sont calculés à partir de la moyenne. Le calcul de l'écart type a permis d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne (Amoussou, 2010). Il est déterminé par le calcul de la racine carrée de la variance :

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

L'écart type est l'indicateur de la variabilité par excellence.

A partir du calcul de l'écart type, l'étude des indices pluviométrique (anomalies) interannuelles a été faite en standardisant les données.

Anomalies centrées réduites

A partir du calcul de l'écart type, l'étude des anomalies pluviométriques a été effectuée. L'anomalie désigne une situation de déficit et d'excédent par rapport à la moyenne jugée comme une situation pluviométrique ou thermométrique normale. C'est une observation mesurée sous forme statistique qui, par rapport à une moyenne « normale » donnée, peut être positive ou négative. Les anomalies ont été calculées par la formule :

$X'_i = \frac{X_i - \overline{X}}{\sigma(x)}$ où xi = la valeur de la variable, $\overline{X}$ = la moyenne de la série.

Toutefois, les paramètres de dispersion ne suffissent pas à eux seuls pour mesurer la variabilité proprement dite, car ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques.

Moyennes mobile

La moyenne mobile a été utilisée pour rechercher les tendances pluviométriques. La technique des moyennes mobiles a consisté à lisser les irrégularités en associant les valeurs $\mathbf{Y_{ti}}$ d'une chronique de nouvelles valeurs $\mathbf{Z_{ti}}$ qui sont des moyennes arithmétiques d'une valeur originale $\mathbf{Y_{ti}}$ et des valeurs qui l'encadrent (Vissin, 2007). Les moyennes mobiles sont

calculées suivant une période de trois ans (une valeur de part et d'autre de $\mathbf{Y_{ti}}$**).** Elles ont permis de caractériser la variabilité pluviométrique.

Indice pluviométrique

En ce qui concerne l'indice pluviométrique (IP), il permet de mieux étudier la variabilité pluviométrique ; encore appelé indice centré réduit, l'indice pluviométrique est le rapport de l'écart à la moyenne sur l'écart-type des hauteurs pluviométriques annuelles. Il s'écrit de la manière suivante : $\mathbf{IP = (xi - x) / \sigma}$.

Dans cette formule, *x* correspond à la hauteur moyenne de précipitations, ***xi*** à la hauteur de pluie d'une année *i* et σ représente la déviation standard. Les valeurs positives traduisent des excédents pluviométriques tandis que les valeurs négatives indiquent les déficits pluviométriques.

Intensité des déficits

Quant à l'intensité (I) des déficits, elle est déterminée par la formule suivante :

I = (Pa-Pm)/Pm

Où **Pa** désigne la pluviométrie de l'année **a** et **Pm** la pluviométrie moyenne annuelle de la série.

2.2.2- Traitement des données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi

Pour les types d'infrastructures hydrauliques, les données collectées au niveau du Service Régional de l'Hydraulique à Kandi ont été traitées avec le tableur Excel. Le taux de panne (PM non inclus) par arrondissement collecté a été également traité avec Excel et le résultat est présenté sous forme graphique. Le taux de desserte en eau potable des ouvrages hydrauliques par arrondissement a été calculé en utilisant la formule retenue par la DG Eau :

Td(%) = Pd/Pt*100 avec Td(%) = Taux de desserte en eau potable ; Pd = Population desservie ; Pt = Population Totale.

Pour un forage (FPM), la population desservie est donnée par la relation Pd = nombre de forage X 250 (un point d'eau dessert une population de 250 habitants).

Quant aux Adductions d'Eau Villageoises (AEV), cette population desservie devient à Pd = nombre de bornes fontaines X 500.

Dans un village disposant à la fois de forages et de bornes fontaines, la population desservie constitue la somme de la population desservie au niveau des forages et des bornes fontaines.

La population totale desservie (Pd) = Pdf + Pdbf avec Pdf = Population desservie au niveau des forages et Pdbf = Population desservie au niveau des bornes fontaines.

Les coordonnées géographiques des différents types d'ouvrages hydrauliques relevées sur le terrain à l'aide du GPS ont été complétées à celles du Service Régional de l'Hydraulique à Kandi. Ces données ont été déchargées à l'ordinateur à l'aide du logiciel Mapsource. Une table a été conçue et a permis d'associer chaque type d'ouvrage d'eau à ses coordonnées. Cette table a été ensuite importée dans l'environnement SIG d'Arc Map 10.3.

Après extraction du milieu de recherche, les coordonnées rectangulaires pour chaque type d'ouvrages hydrauliques ont été projetées sur la carte suivant la syntaxe : « *Tools / Add XY data* ». Cette opération a permis d'afficher les différents types d'infrastructures hydrauliques. Ces ouvrages hydrauliques ainsi réparties sur le territoire communal sont appréciées par arrondissement et suivant le poids démographique de chaque localité. Pour mieux appréhender les facteurs démographiques liés à la répartition spatiale des ouvrages hydrauliques, les couches des infrastructures hydrauliques et la densité de population par arrondissement ont été superposées. L'analyse spatiale menée est basée sur les normes requises pour la répartition des infrastructures hydrauliques en vigueur au Bénin qui est de 1 point d'eau pour 250 habitants avec une couverture de 1000 m de rayon (DGH, 2005).

Deux méthodes d'analyse spatiale permettent d'appréhender la distribution spatiale des sources d'approvisionnement en eau et de déterminer les zones de desserte de ces sources. Il s'agit du ‘’*polygone de Thiessen*’’ et du ‘’*buffer*’’. Ces deux méthodes d'analyse spatiale visent à apprécier l'accessibilité physique des sources d'approvisionnement en eau aux populations.

Le polygone de Thiessen est une fonction d'interpolation locale qui utilise la méthode des plus proches voisins. Ces polygones découpent l'espace autour des points de base de telle manière que chacun d'eux comprenne toutes les positions possibles pour lesquelles il est le plus proche point d'échantillonnage (Hounguevou et *al*., 2014b). Cette méthode est souvent utilisée pour mesurer les aires d'attraction des ouvrages hydrauliques. En construisant un espace autour de chaque ouvrage d'approvisionnement en eau, un nouveau maillage se dessine de sorte que l'ensemble des points est plus proche du point à partir duquel s'est construit le polygone.

Les polygones de Thiessen sont considérés comme des unités relativement homogènes et prennent la valeur du point autour duquel ils sont réalisés. Par contre, les limites de ces polygones s'adaptent difficilement aux variables évoluant de manière progressive. Ils entretiennent l'illusion de phénomènes inchangés entre les limites des polygones et changent

de manière brusque à la frontière (Djafarou et *al.,* 2016 ; Hounguevou et *al.,* 2014b). Leurs représentations sont contraintes par le respect des surfaces, des contours du territoire et dépendent de la distribution des points (Harang, 2007).

Le "*buffer*" communément appelé zone tampon, est une technique d'analyse de proximité ou de voisinage qui permet de visualiser la couverture des besoins en eau et de mettre en évidence les zones de déficit (Hounguevou et *al.,* 2014b). Il permet d'apprécier l'accessibilité physique des populations aux sources d'approvisionnement en eau. C'est aussi une méthode d'analyse spatiale qui consiste à créer une zone d'extension, aux dimensions définies par l'opérateur, autour d'un point, d'une ligne ou d'un polygone (Harang, 2007). Il met en évidence des liens de proximité entre chaque ouvrage hydraulique et son environnement. La difficulté majeure de cette méthode d'analyse spatiale réside dans la définition de la taille du rayon autour de chaque infrastructure hydraulique.

La méthode retenue pour cette étude est celle du « *polygone de Thiessen* » parce qu'il permet d'obtenir un maillage de points très proches et ces points conservent les mêmes valeurs que le point autour duquel ils ont été construits.

Après la génération du «*polygone de Thiessen* », la fonction ‘’*select by location*’’ de l'opérateur ‘’*Selection*’’ du menu principal de Arc Map 10.3 a été appliquée pour extraire les localités contenues dans le polygone. Par la suite, la sélection a été inversée (*Switch selection*) afin d'avoir les localités en dehors du polygone, c'est-à-dire les zones non desservies. Cette même fonction a servi pour mener des analyses et visualiser les ouvrages hydrauliques situés à 100 m, 500 m et 1 Km des habitations.

L'organigramme méthodologique ayant permis de réaliser le premier objectif de cette étude est représenté dans la figure 4.

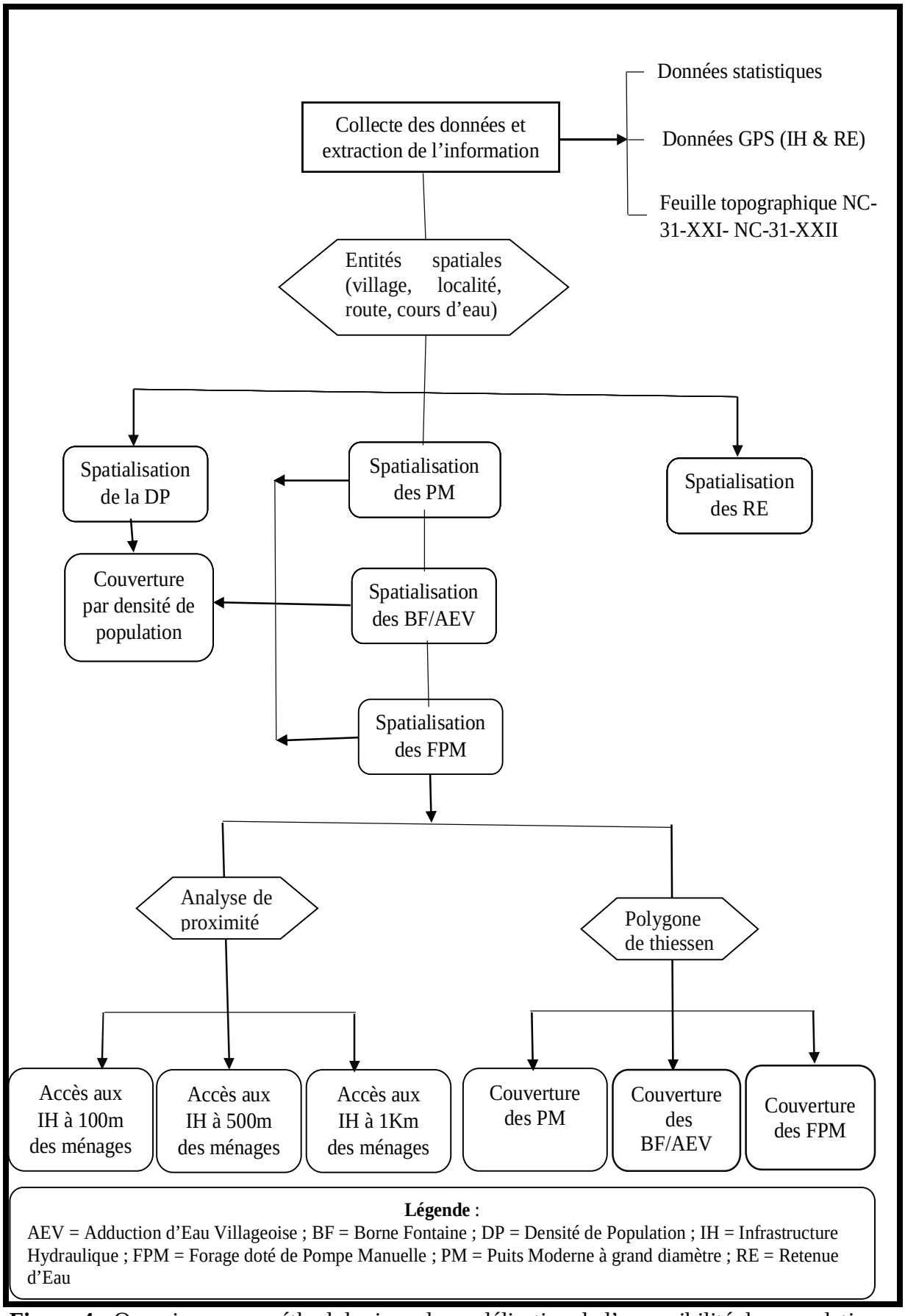

Figure 4 : Organigramme méthodologique de modélisation de l'accessibilité des populations aux sources d'approvisionnement en eau. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016

2.2.3- Traitement des données pour la détermination de la vulnérabilité liée aux différents usages des sources d'approvisionnement en eau

Les données GPS des ouvrages hydrauliques étudiés ont été traitées à l'aide d'Excel. Ces données ont été ensuite organisées sous un format compatible au logiciel Arc gis10.3. Ceci a permis de bien les structurer avant d'être exploitées sans difficulté dans Arc Map 10.3. Par la suite, le fichier Excel a été importé dans Arc Map 10.3 et converti en ''*shape file*'' pour qu'il puisse devenir une couche modifiable. Ces ''*shapes files*'' ont été projetés à nouveau dans le Système UTM, WGS 84, zone 31N pour les rendre superposables aux données de base (localités, limites des arrondissements). L'intégration de ces données dans l'environnement SIG a permis de positionner ces ouvrages d'eau sur la carte. L'étape suivante a été l'interpolation des couches de données. La méthode adoptée est celle de l'Inverse de la Distance Pondérée (IDW) (*Inverse Distance Weighted)* de la fonction ''*Spatial Analyst*'', donnée par la relation suivante :

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Z_i / D_{ik})}{\sum_{i=1}^{n} (1/D_{ik})}$$

Où : D_{ik} représente la distance aux n points les plus proches à partir du point d'observation i au point k sur l'image raster « Grid ». La syntaxe utilisée est la suivante : *Spatial analyst / interpolate/ Inverse Distance Weighted (IDW) / taille du pixel.* Le facteur à interpoler a été inséré dans le menu ''*Z value field*'' et le processus a été lancé. Cette procédure a permis d'interpoler les données issues des analyses physico-chimiques et bactériologiques des infrastructures hydrauliques (eau souterraine et retenue d'eau) étudiées. Après cette étape, le milieu de recherche a été extrait de toute la zone interpolée. Après le prétraitement, une classification en quatre classes a été faite avec Arc Map 10.3.

Au niveau des données liées aux immondices, la même démarche de traitement a été opérée. En effet, après leur spatialisation, les superficies de ces immondices ont été interpolées et classifiées en quatre classes. Cette opération a permis de déterminer les zones vulnérables aux immondices.

Après le traitement des données GPS des latrines publiques, ces dernières ont été spatialisées sur le territoire communal. La fonction ''*select by location*'' a été utilisée pour analyser et mettre en exergue les infrastructures hydrauliques qui sont proches ou éloignées des latrines.

Les données sur les maladies hydriques collectées par arrondissement ont été traitées avec Excel et ajoutées à la table attributaire comportant les données démographiques. Les

différentes opérations menées sur l'environnement SIG ont permis de réaliser la cartographie de l'occurrence des maladies hydriques.

La démarche méthodologique suivie est structurée en différentes étapes intégrant le SIG. Elle est décrite à travers la figure 5.

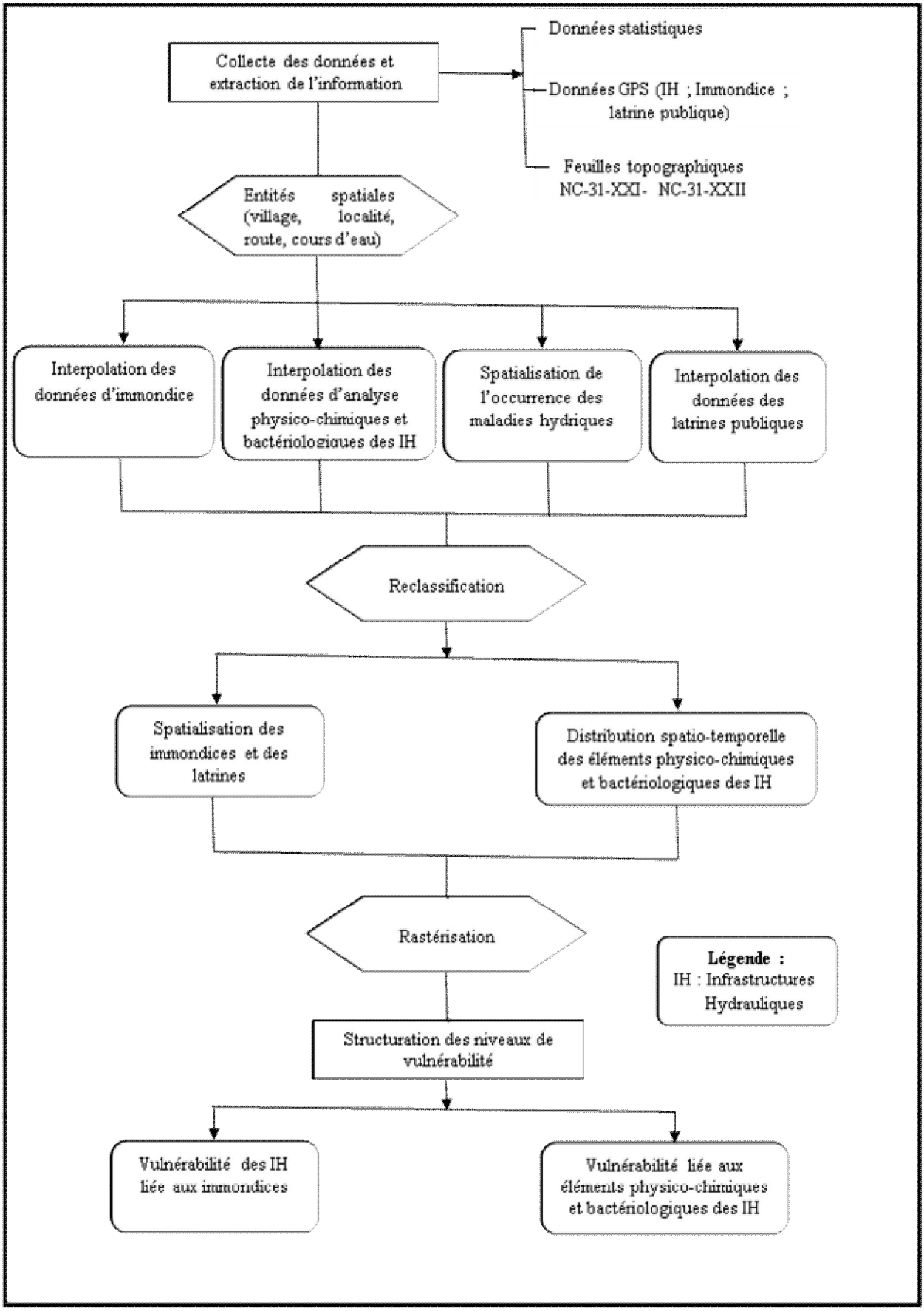

Figure 5 : Organigramme méthodologique de modélisation de vulnérabilité des infrastructures hydrauliques. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016

2.2.4- Traitement des données pour la détermination des zones favorables à l'implantation de forages

2.2.4.1- Analyse du potentiel en eau souterraine

Processus de traitement des images Landsat OLI-TIRS

Dans les régions de socle, les images satellitaires apportent des données nouvelles en temps réel, non seulement en faisant apparaitre de grandes unités lithologiques, mais aussi en montrant des failles et des linéaments qui ne sont pas connus (Chorowicz, 1984). Dans les projets de prospection d'eau souterraine, la recherche et l'analyse des linéaments structuraux constituent une option principale. Plusieurs travaux (Kouassi et *al.*, 2013 ; Biemi, 1992) réalisées dans les socles cristallin et cristallophyllien de l'Afrique de l'Ouest ont montré que les zones potentielles susceptibles d'abriter de l'eau se situent généralement aux environs de ces accidents géologiques. Les images de télédétection fournissent une vue synoptique de grande zone et offre des possibilités importantes (Oussou, 2015). Dans cette optique, les images Landsat OLI-TIRS du milieu de recherche ont subi diverses opérations à savoir :

Prétraitements des images Landsat OLI-TIRS : Amélioration du contraste

Pour mieux apprécier les informations, un étirement linéaire des bandes a été fait au niveau de l'image. Par cette méthode, les limites supérieures et inférieures d'intensité représentées sur l'histogramme (les valeurs minimales et maximales) ont été identifiées. Ensuite à l'aide d'une transformation linéaire, les valeurs obtenues ont été étirées sur l'ensemble des valeurs disponibles (0 à 255).

Mosaïquage et extraction du milieu de recherche

La jointure bande par bande des images offre une vue d'ensemble du milieu de recherche. L'extraction de la zone a été faite en insérant les coordonnées de l'angle supérieur gauche et inférieur droit. Afin de s'assurer que toutes les opérations à effectuer prendront en compte le milieu de recherche, il a été décidé d'étendre la zone de cadrage et de couper un peu au-delà.

Pan-Charpenning et analyse en composante principale

L'opération de Pan-charpenning signifie l'utilisation d'une image panchromatique (bande unique) pour améliorer une image multispectrale. Elle a ainsi permis de faire une combinaison de l'avantage spatial du panchromatique et spectral des bandes multispectrales de l'image.

Cette opération a permis d'accéder à un niveau de détails meilleurs spatialement et radiométriquement.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une opération effectuée sur plusieurs canaux, dans le but d'améliorer la qualité des images, de supprimer les redondances d'informations et de compiler les données (Ranjbar et *al.,* 2004). C'est une transformation orthogonale d'image. Elle regroupe les informations contenues dans toutes les bandes d'une scène dans un nombre restreint de bandes (Oussou, 2015). Cette opération de transformation d'image, a permis de regrouper le maximum d'informations des 10 bandes du Landsat / OLI-TIRS de résolution 30 m de la zone de recherche dans la composante principale (PC1).

Application des filtres linéaires (Sobel)

Le filtrage d'image est une modification des fréquences spatiales (contrastes locales) où l'on transforme la valeur radiométrique d'un pixel considéré par rapport à ses voisins. C'est une opération qui utilise la matrice de convolution pour rehausser certains détails spécifiques d'une image (Oussou, 2015). Le concept de convolution indique une application qui exprime une combinaison des tons de gris d'un pixel en rapport avec ceux de ses voisins. Le but du filtrage d'image est essentiellement de supprimer, d'atténuer ou d'accentuer les fréquences spatiales en vue de rendre plus nets les thèmes ou les composantes de deux ou plusieurs thèmes contigus pour une bonne interprétation visuelle de l'image. Les filtres de Sobel offrent la possibilité de rehausser les pixels organisés de façon linéaire dans une image. Ils mettent en relief les fortes transitions de réflectances et les hautes fréquences spatiales généralement associées aux linéaments (Oussou, 2015 ; Biemi, 1992). Les filtres directionnels de Sobel accentuent les discontinuités lithologiques et structurales dans les quatre directions N-S ; NE-SO ; NO-SE ; E-O (Saley, 2003 ; Biemi et *al*., 1991a). Ces filtres sont conçus de façon à faire ressortir ou masquer les caractéristiques spécifiques d'une image en se basant sur la fréquence liée à leur texture (Himyari et *al*., 2002). Les linéaments sont utilisés dans nombre d'études (Kouamé, 2009 ; Youan *et al.,* 2008 ; Biemi, 1992) visant des objectifs similaires soit d'analyse structurale soit de prospections souterraines. Le rehaussement local des pixels est défini selon les directions d'intérêt (Oussou, 2015).

Pour le cas de la Commune de Kandi, la composante ACP1 a été retenue comme données de base à laquelle nous avons appliqué un filtre passe-haut de moyenne servant de bande d'entrée dans la composition de filtres directionnels de type Sobel qui regroupe le maximum d'informations.

Extraction des linéaments

L'extraction des linéaments à partir des images filtrées peut se faire de façon manuelle. Cette méthode prend énormément du temps et reste subjective car elle conduit souvent à des erreurs de numérisation. Ainsi pour contourner ce risque, le module *LINE du logiciel PCI Géomatic* a été utilisé pour extraire automatiquement les linéaments.

Calcul de la densité de linéaments et reclassification

La densité de lignes (Km/Km^2) a été calculée en utilisant le module ‘’*Spatial Analysis* ‘’d'Arc Gis 10.3. Cette densité traduit la longueur des linéaments par élément de surface (Oussou, 2015). Suivant la méthode de Oussou (2015) et de Magesh et *al.,* (2012) une classification suivi de la pondération des couches ont été opérées. Le tableau IV montre les intervalles de valeur et les poids correspondants.

Tableau IV : Classification de la densité des linéaments et pondération suivant l'influence sur le potentiel en eau

Densité de linéaments (Km/Km²)*	**Pondération**
0-0.6	1
0.6 – 1.2	3
1.2 – 1.8	5
1.8 – 2.4	9
> 2.4	13

Source : *(Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012) ; / Données collectées à partir des images Landsat / OLI-TIRS / Travaux de terrain 2015 - 2016

Epaisseur d'altérite

Le fonctionnement des aquifères de socle conjugue deux fonctions, que sont souvent le rôle de réservoir assuré principalement par les produits de l'altération de la roche en place développée depuis le niveau du sol jusqu'à parfois plusieurs dizaines de mètres de profondeur : altérites (Oussou, 2015). Le rôle de système conducteur est assuré surtout par le réseau de fissures et de fractures existant plus bas que l'altérite, dans la roche saine (Oussou, 2015). En domaine de socle les eaux souterraines sont situées au sein de deux unités aquifères superposées en contact permanent (Oussou, 2015). Les épaisseurs d'altérites mesurées après réalisation des forages sont interpolées par la méthode de ‘’*Krigeage*’’. La couche raster obtenue après cette opération a été reclassifiée en cinq classes puis pondérée (Tableau V).

Tableau V : Classification de l'épaisseur du recouvrement et pondération des couches suivant l'influence sur le potentiel en eau

Epaisseur du recouvrement (m)*	Pondération
0-10	1
10 – 20	3
20 – 30	5
30 – 40	9
> 40	13

Source : *(Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012)/ Travaux de terrain 2015-2016

Classification et pondération de la lithologie

La nature lithologique des formations géologiques conditionnent très fortement la disponibilité en eau (Oussou, 2015). Les potentialités en ressource en eau souterraine sont favorables dans les conglomérats du bassin de Kandi (SBEE, 2003). Ce bassin comporte deux aquifères essentiels. Il s'agit de : L'aquifère monocouche à nappe fréquemment libre des grès fins (tidaux) et microconglomérats supérieurs, présents 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 hydrauliques de la zone de recherche se situent entre 5 et 15 m. Des débits d'exploitation de 10 à 40 m^3/h sont possibles à des profondeurs de 50 à 80 m avec un taux de réussite supérieur à 80 % (UNICEF, 2005 ; SBEE, 2003). C'est en effet l'aquifère exploité dans le cadre des programmes de forages d'hydrauliques villageoises. Dans la zone du complexe migmatique, les potentialités de ressource en eau souterraine sont plutôt modestes. Des débits compris entre 2 et 5 m^3/h sont notés à des profondeurs inférieures à 45 m. Le taux de réussite d'essais de pompage varie de 50 à 70 % (UNICEF, 2005 ; SBEE, 2003). L'aquifère monocouche de grès (fluviatiles) 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) ; c'est l'aquifère le plus étendu et le plus puissant du bassin de Kandi, mais il est très peu connu car relativement profond. Cet aquifère est rarement capté par les ouvrages d'hydrauliques villageoises. Pour la cartographie des différentes zones rocheuses susceptibles d'abriter des projets d'hydrauliques villageoises, la valeur hydrogéologique de chaque formation a été pondérée en vue de les ranger dans un ordre de potentialité en ressource en eau (tableau VI). La méthode de Oussou

(2015) et de Magesh et *al.,* (2012) ont été adoptée suivi d'une classification et de la pondération des couches.

Tableau VI : Pondération de la lithologie selon l'influence sur le potentiel en eau

Lithologie*	**Pondération**
Dahomeyen	1
Intrusions tardives	3
Mio-Pliocenne	9
Crétacée Supérieur	13
Mio-Pliocenne quaternaire IV	25

Source : *(Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

Drainage

Lorsque l'eau libre du sol trouve à s'échapper vers une fosse, un canal ou une source, on dit qu'il y a drainage. On parle de drainage du sol pour caractériser le mouvement descendant de l'eau libre dans les pores du sol. Il s'agit d'un phénomène naturel de circulation de l'eau dans l'espace souterrain (Hugues *et al.,* 1990). L'alimentation des nappes rime de façon considérable avec la densité des cours d'eau (Oussou, 2015). Après une averse, la disponibilité permanente ou temporaire de l'eau dans un cours d'eau maximise l'infiltration efficace des aquifères voisins. Le drainage d'un bassin met en relief le mètre linéaire du cours d'eau par unité de surface (Oussou, 2015). Il s'agit notamment de la longueur par unité de surface (Km/Km^2). En vue de l'intégrer dans le model et effectuer des analyses spatiales, la reclassification et la pondération (tableau VII**)** offrent une analyse plus aisée afin d'identifier avec précision les zones hydrogéologiques productives. Les seuils existants ne sont pas standards (Oussou, 2015). Ils varient d'une étude à une autre adaptés chaque fois aux conditions climatiques et géologiques spécifiques du milieu de recherche (Oikonomidis et *al.,* 2015 ; Ndatuwong et Yadav, 2014 ; Abdalla, 2012 ; Kanohin et *al.*, 2012 ; Magesh et *al.,* 2012 ; Sreedhar et *al.*, 2009). La densité de drainage a été déterminée dans *Arc Map* à l'aide de la fonction *''Flow accumulation''* sous *''Hydrology''* dans *''Spatial Analyst Tools''*.

Tableau VII : Classification et pondération de la carte de drainage

Drainage (Km/Km^2)*	**Pondération**
0 – 0.05	1
0.05 – 0.1	3
0.1 – 0.15	5
0.15 – 0.2	9
> 0.2	13

Source : *(Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

Pluviométrie

L'estimation des aires pluvieuses nécessite l'interpolation spatiale des hauteurs annuelles de pluie. Ces hauteurs subissent ensuite une reclassification et une pondération suivant la méthode de Oussou (2015) et de Magesh et *al.,* (2012) en vue d'identifier spatialement comment le milieu de recherche est arrosé (Tableau VIII).

Tableau VIII : Classification et pondération de la pluviométrie

Hauteur annuelle de pluie (mm)	Pondération
< 1080	1
1080 – 1100	3
1100 – 1120	5
1120 – 1140	9
> 1140	13

Source : (Oussou, 2015 ; Magesh et *al.,* 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

Topographie (Longueur de la pente)

La topographie est calculée en se référant au modèle *''USLE''* où la topographie constitue l'un des paramètres déterminants. La prise en compte de la topographie se traduit par le fait qu'elle caractérise la pente et sa longueur (Tableau IX). Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$LS = (n + Res) * (Flowaccum * \frac{Res}{22.1})^{n} * (\frac{Sin(pente)}{0.09})^{1.3}$$

Avec *LS* : la topographie ; *Res* : la résolution du MNT ; *Flowaccum* : Flow accumulation ; pente en degré et n = 0.4

Tableau IX : Classification et pondération de la couche de la topographie

Longueur de la pente (m)	Pondération
< 250	3
250-500	5
500-1500	9
> 1500	13

Source : (Oussou, 2015 ; Magesh et *al.,* 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

2.2.4.2- Analyse du potentiel hydraulique des forages d'exploitation

Transmissivité

L'interpolation par ''*Krigeage*'' a permis d'avoir une couche raster qui indique la répartition spatiale de la transmissivité. La couche est classifiée sur la base des gammes de transmissivité proposée ci-après (Tableau X).

Tableau X : Facteur de transmissivité

Transmissivité ($m^2.s^{-1}$)	Pondération
$< 10^{-5}$	1
$10^{-5} – 5.10^{-5}$	5
$5.10^{-5} – 10^{-4}$	9
$> 10^{-4}$	13

Source : (Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

Débit

Le débit ''*fin foration*'' est celui mesuré juste après avoir terminé la réalisation du forage. Tout comme dans le cas précédent une interpolation des débits a été faite, une reclassification et la pondération qui est basée sur la proposition du Comité Interafricain d'Etude Hydraulique (Lasm, 2000) (Tableau XI).

Tableau XI : Facteur de débit

Valeur du débit (m^3/h)	Description	Pondération
< 1	Très faible	1
1 – 2.5	Faible	5
2.5 – 5	Moyen	9
> 5	Fort	13

Source : (Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012) / Travaux de terrain 2015-2016

Niveau statique

Le niveau statique est définit comme la profondeur de la nappe à une date donnée. Il est mesuré par rapport à une référence qui peut être la margelle ou la surface topographique. Exactement comme dans les cas précédents, une reclassification après interpolation a été effectuée suivi de la pondération (Tableau XII).

Tableau XII : Facteur de niveau statique

Valeur du niveau statique (m)	Pondération
0 – 5	1
6 – 15	5
16 – 25	9
> 25	13

Source : (Oussou, 2015 ; Magesh et *al.*, 2012)/ Travaux de terrain 2015-2016

La superposition des trois couches donne une carte synthétique qui retrace le potentiel hydrodynamique :

$$CAH = \sum (TR, QF, NS)$$

où le *CAH* représente la Carte d'Aptitude hydrodynamique, *TR* = Transmissivité, *QF* = Débit du forage et *NS* = Niveau Statique.

L'approche méthodologique adoptée est structurée en différentes étapes intégrant les techniques de la télédétection spatiale et les SIG (figure 6).

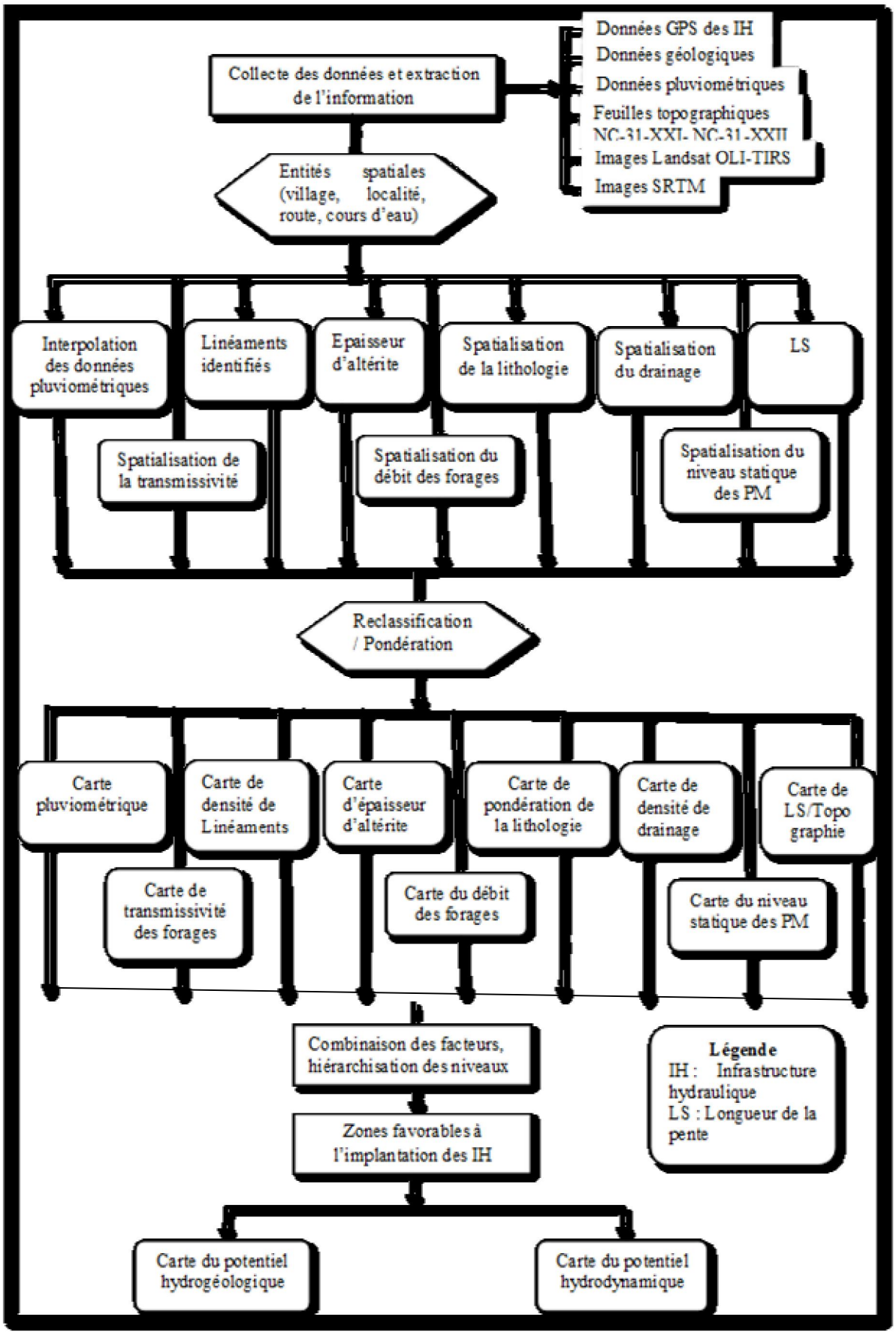

Figure 6 : Organigramme méthodologique pour l'identification des zones favorables aux forages. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016

2.3- Difficultés rencontrées et limites de l'étude

L'un des obstacles rencontrés porte essentiellement sur la non acquisition de certaines données notamment les images radars pouvant permettre d'identifier plus facilement les failles et celle du Système Aster ayant une résolution spatiale de 30 m pour mener des opérations SIG plus approfondies et avoir plus d'informations.

La réticence de certains acteurs à fournir des informations fiables a été un véritable obstacle. Ceux-ci pensent que les questions liées à l'utilisation de l'eau et à l'hygiène autour des sources d'approvisionnement en eau doivent être gardées en secret, sous prétexte de voir leurs ouvrages d'eau fermés.

Les travaux champêtres (les récoltes) n'ont pas permis de toucher certains acteurs du monde paysan. Les rencontres avec les éleveurs dans les camps peulhs et des transhumants n'ont pas été du tout facile. Il fallait s'y rendre au pâturage suivi d'un guide servant de traducteur pour obtenir leurs perceptions sur la gestion des points d'eau.

Conclusion partielle

La démarche adoptée pour cette étude est basée sur deux approches complémentaires. La première se fonde sur l'exploitation des bases de données existantes au niveau des différents Services Déconcentrés de l'Etat (SDE) rencontrés et la Mairie. La seconde est liée à la collecte des données géo-spatiales, des images satellitaires et des données auprès des acteurs rencontrés (ménages, éleveurs, agriculteurs et pêcheurs) et des personnes ressources sur le terrain. Ces approches méthodologiques ont permis d'obtenir des résultats organisés suivant les objectifs spécifiques.

Chapitre 3 : Cadre géographique et caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi

La situation et la justification du milieu de recherche, les caractéristiques physiques, sociodémographiques et économiques constituent les éléments essentiels qui permettent de faire le portrait spécifique du cadre géographique de la recherche. Les différents paramètres du milieu physique constituent les milieux idéals pour mener les études sur la variabilité climatique et hydrologique. L'analyse des conditions socio-économiques met en exergue les différentes pratiques ayant un impact sur l'écosystème, et surtout, sur la qualité des ressources en eau dans la Commune de Kandi. Ainsi, les multiples usages de l'eau à savoir : boisson, cuisson des aliments, nettoyage de la vaisselle, la lessive, l'hygiène corporelle, l'irrigation des champs, construction des bâtiments etc., amènent les populations de la Commune de Kandi à diversifier leur source d'approvisionnement en eau. Ce qui laisse entrevoir plusieurs types d'ouvrages d'alimentation en eau auxquels la population fait recours.

3.1- Cadre géographique

3.1.1- Situation du milieu de recherche

La Commune de Kandi constitue le cadre géographique de la présente étude. Elle est comprise entre 10°95' et 11°59 de latitude nord et 2°54 et 3°26' de longitude est (Assouma, 2011 ; Démonlé, 1991 ; Aboudou, 1987), ce qui correspond à la zone UTM 31 Nord (figure 7).

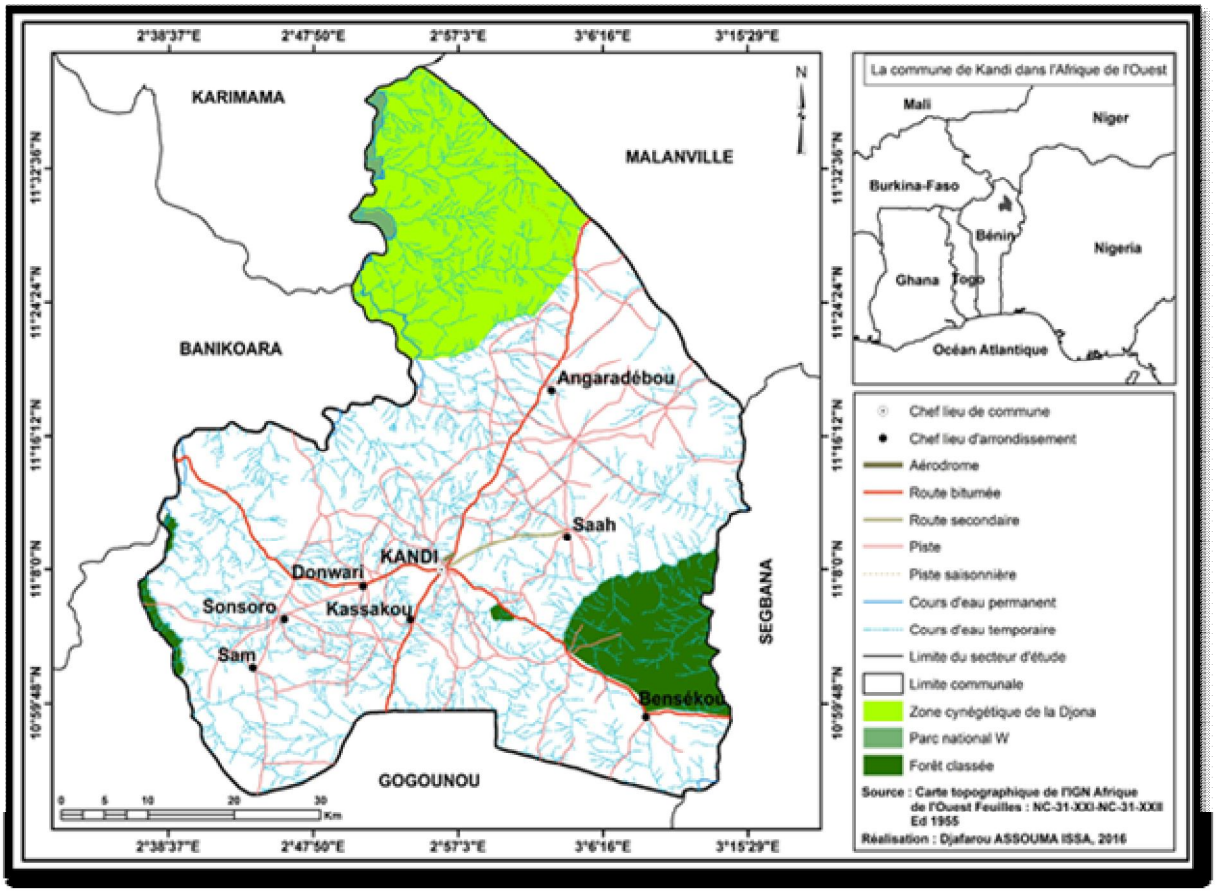

Figure 7 : Situation géographique de la Commune de Kandi. **Source** : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest. Travaux de terrain, 2015

Cette Commune est à 215 Km au nord de Parakou et couvre une superficie totale de 342 100 ha ; ce qui correspond à 3 421 Km^2 soit environ 13 % de l'ensemble des départements du Borgou et de l'Alibori (Démonlé, 1991). Selon les résultats du $RGPH_4$, la population de la Commune de Kandi est recensée à 177 683 habitants en 2012 avec une densité moyenne de 51,93 habts/Km^2.

Elle est limitée au nord par les Communes de Karimama et de Malanville, au sud par la Commune de Gogounou, à l'est par la Commune de Ségbana et à l'ouest par celle de Banikoara. Elle est desservie par la Route Nationale Inter Etat n°2 Cotonou-Malanville et par la Route Nationale Inter Etat n°7 Banikoara-S*é*gbana accessible en toute saison et par un réseau de pistes de praticabilité incertaine en saison pluvieuse. La Commune de Kandi est soumise à une influence climatique de type soudano-sahélien.

3.1.2- Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques du milieu de recherche concernent les contextes climatique, géologique, géomorphologique, hydrographique, les formations pédologiques et les composantes végétales.

3.1.2.1- Contexte climatique

Le climat est l'un des facteurs dont dépendent fondamentalement les ressources en eau (Assouma, 2011). Les paramètres climatologiques abordés à travers le contexte climatique de milieu de recherche sont la pluviométrie et la température.

3.1.2.1.1- Tendance pluviométrique

Le milieu de recherche se situe dans la zone soudano-sahélienne ou nord soudanien. Son régime pluviométrique est caractérisé par deux saisons contrastées, une saison pluvieuse de mars à octobre et une saison sèche de novembre à mars. (Assouma, 2011). La précipitation constitue le facteur le plus essentiel pour la recharge de la nappe. Son effet varie de façon significative en fonction de sa durée, de sa période et de sa quantité. La figure 8 présente le rythme mensuel des précipitations à Kandi de 1985 à 2015.

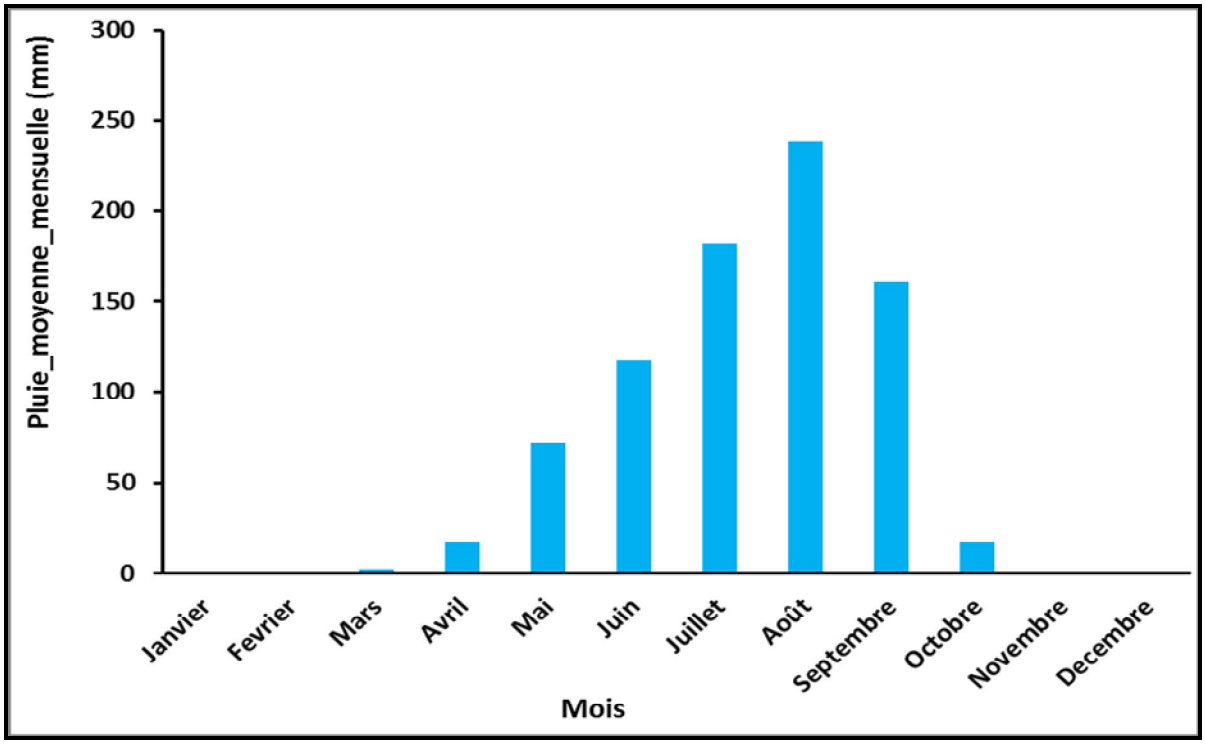

Figure 8 : Rythmes mensuels de la pluviométrie à Kandi de 1985-2015 / **Source** : Données de l'ASECNA, 2016

L'analyse de cette figure 8, montre que les hauteurs moyennes mensuelles de pluie augmentent progressivement de mars à août avec un pic noté en août (257,24 mm) puis diminuent brusquement en octobre (37,47 mm). Ainsi, les périodes les plus humides s'observent au cours des mois de juillet à septembre. Les sources d'approvisionnement en eau sont ainsi pourvues. Les populations ont donc un accès facile à ces sources d'eau. Par contre, les mois de novembre, décembre, janvier et février sont marqués par une très faible disponibilité en eau. Le niveau d'eau de la nappe baisse, et rend non fonctionnel certains forages. Face à cette situation, les populations se dirigent vers les sources d'eau inappropriées (rivières, retenue d'eau) encore pourvue d'eau en milieu rural. Pour mettre en exergue ces problèmes liés à la disponibilité et à l'approvisionnement en eau par les populations de la Commune de Kandi, la variabilité interannuelle des précipitations et leurs impacts sur les ressources en eau ont été analysées.

3.1.2.1.2- Variabilité interannuelle de la pluviométrie

Parmi les éléments du climat qui ont un impact direct sur la ressource en eau, figure en bonne place la pluviométrie. L'impact des facteurs climatiques sur les ressources en eau dans cette Commune s'explique à partir de la variabilité interannuelle des précipitations (figure 9).

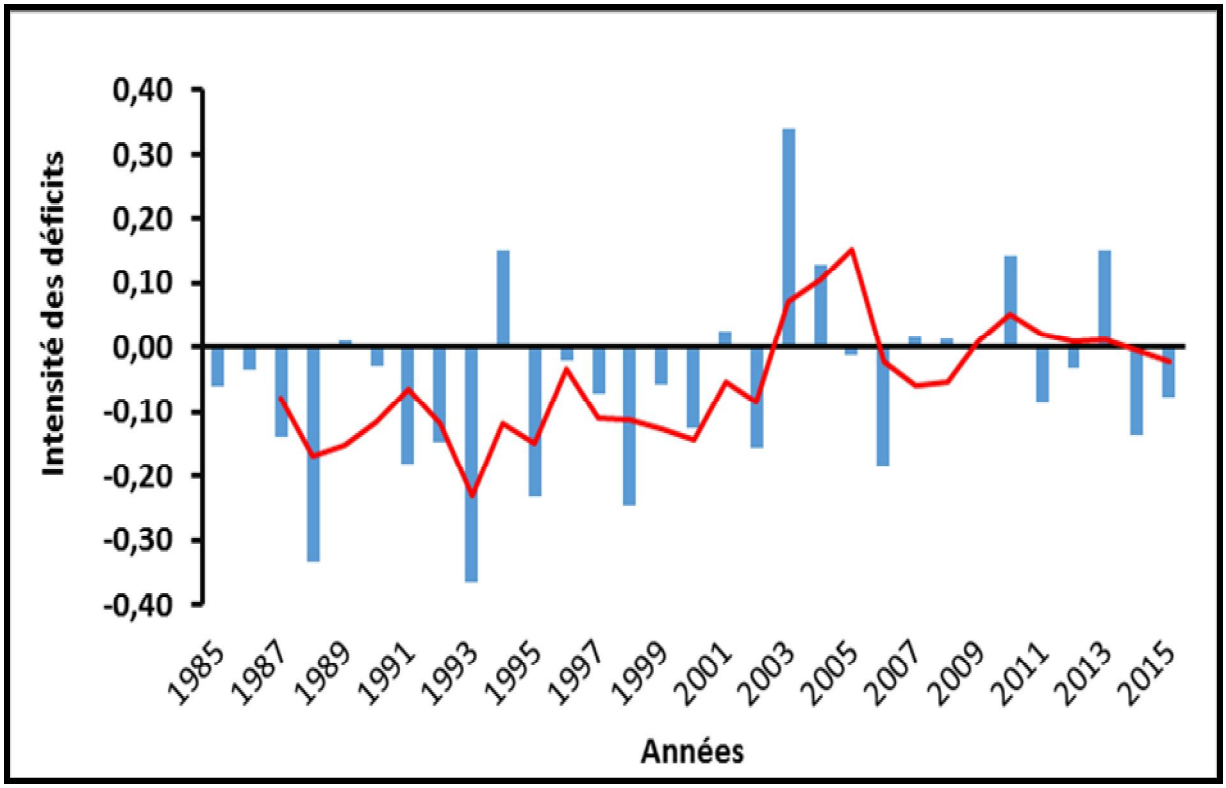

Figure 9 : Variabilité interannuelle des précipitations de 1985 à 2015 dans la Commune de Kandi / **Source** : Données de l'ASECNA, 2016

L'analyse de cette figure 9 montre une répartition hétérogène des intensités pluviométriques dans la Commune entre 1985 et 2015. Il est à noter moins d'années excédentaires. Ainsi, les plus fortes anomalies positives de précipitations sont enregistrées entre les années 2003 et 2005 puis de 2009 à 2011. Par contre, les années déficitaires sont dominants. Les plus fortes anomalies négatives sont observées entre : 1987 et 1989 ; 1993 et 1995 ; 2005 et 2007. Durant ces années, les niveaux d'eau de la nappe phréatique et des cours d'eau dimunient et leurs accès sont très difficiles aux populations. Cette situation met en relief les périodes où les acteurs éprouvent des difficultés à s'approvisionner en eau dans la Commune de Kandi (Travaux de terrain, 2016). Pendant la saison sèche dans la Commune de Kandi, la recherche permanente de l'eau occupe plus les femmes et les enfants. De longues files d'attentes sont notées au niveau des différentes sources d'approvisionnement en eau. Le tableau XIII présente les acteurs et les périodes durant lesquelles ils éprouvent de difficultés à trouver de l'eau.

Tableau XIII : Périodes de pénurie d'eau

Acteurs	Décembre - Janvier	Février - Mars	Avril - Mai	Total
Ménages	63	143	27	**233**
Eleveurs	28	41	31	**100**
Agriculteurs	32	51	17	**100**
Pêcheurs	10	67	23	**100**
Total	**133**	**302**	**98**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016

L'analyse du tableau XIII montre que 24,95 % des acteurs locaux rencontrés souffrent de problème d'eau entre décembre et janvier. 56,66 % ont du mal à s'approvisionner en eau entre février et mars. 18,38 % peinent à trouver l'eau entre avril et mai. En ce qui concerne les ménages, 27,03 % des ménages rencontrés s'alimentent difficilement en eau potable entre décembre et janvier. 61,37 % de ces ménages soufrent de pénurie d'eau durant les mois de février et mars. Seulement 11,58 % des ménages s'approvisionnent difficilement en avril et mars. Par ailleurs, les mois de février et mars constituent des périodes les plus sèches où le problème d'eau se pose avec beaucoup plus d'acuité selon les acteurs interviewés dans la Commune de Kandi. Ce sont les périodes durant lesquelles la plupart des points d'eau tarissent davantage et les communautés éprouvent de sérieuses difficultés à s'alimenter en eau. Le bilan climatique permet de mieux apprécier les différentes périodes.

3.1.2.1.3- Bilan climatique

Les précipitations et l'évapotranspiration (ETP) permettent d'établir le bilan climatique (figure 10). L'ETP permet d'exprimer la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par un couvert végétal couvrant bien le sol, en phase active de croissance et alimentée en eau de façon optimale (Trochain et *al.*, 1980). Sur la base des hypothèses formulées par Franquin, (1969), le bilan climatique permet de diviser l'année en périodes bioclimatiques bien définies :

La Période Sèche (PS) (mi - octobre à fin avril) au cours de laquelle la courbe des précipitations est en dessous de la moitié de celle de l'ETP (P < ½ ETP). Pendant cette phase, des pluies précoces sont notées par endroit et alimentent progressivement les sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi.

Quand la courbe de ½ ETP passe sous celle des précipitations, la période est dite humide (mai - juin ; mi-septembre - mi-octobre). Le bilan des apports et des pertes en eau est mis en exergue. La nappe est en phase de rechargement. Les problèmes d'accessibilité se posent en faible intensité surtout au niveau des forages dont le système d'exhaure est moins puissant.

La Période Franchement Humide (PFH) (mi-mai - mi-octobre) est la période durant laquelle la courbe des précipitations est au-dessus de celle de l'ETP. Pendant ce temps, la nappe est suffisamment rechargée. L'eau est disponible en quantité et accessible aux populations.

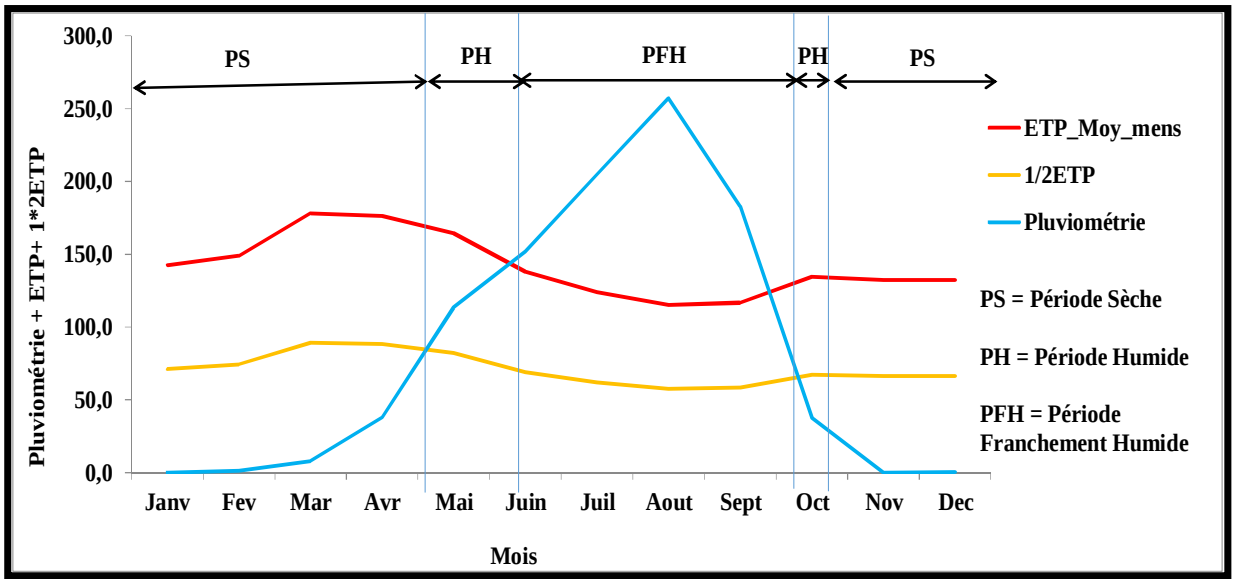

Figure 10 : Diagramme climatique de Kandi (1985-2015) / **Source** : Données de l'ASECNA, 2016

3.1.2.1.4- Tendance thermométrique, insolation et vent

Tendance thermométrique

Selon Démonlé, (1991), les températures du milieu de recherche, sont généralement élevées sauf pendant l'harmattan. Des valeurs supérieures à 40°C sont couramment notées de février à mai et de décembre à janvier, le thermomètre s'abaisse jusqu'à 10°C (Démonlé, 1991 ; Aboudou, 1987). Les variations thermiques diurnes sont très importantes en saison sèches. La figure 11 présente les variations mensuelles des températures de la Commune de Kandi de 1985 à 2015.

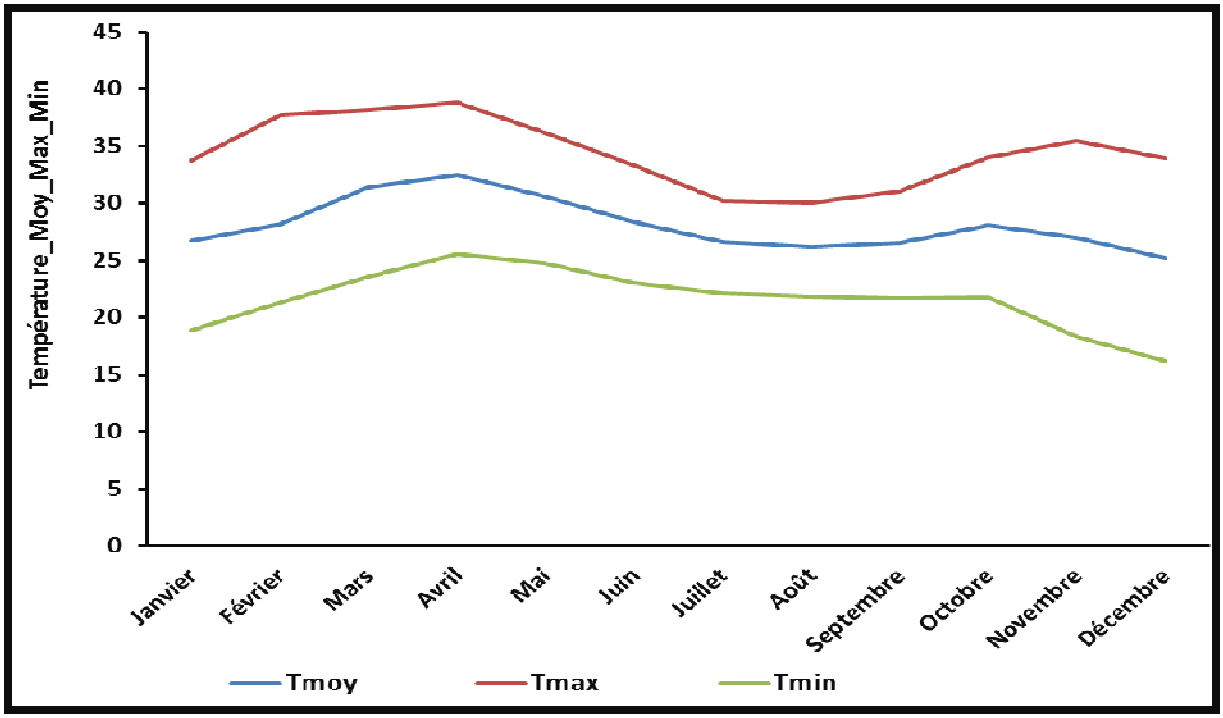

Figure 11 : Rythmes mensuelles de température à Kandi de 1985-2015. **Source :** Données de l'ASECNA, 2016

L'analyse de cette figure 11 montre que la température moyenne mensuelle tourne autour de 28,10°C avec des valeurs maximales de 38,75°C enregistrée en avril et des valeurs minimales de 16,21°C en décembre. Ainsi, les températures les plus élevées s'observent en mars, avril et mai et les plus faibles en décembre et janvier.

Insolation

L'insolation est le paramètre essentiel du rayonnement global et joue à ce titre un rôle important à la fin de l'hivernage en intensifiant le pouvoir évaporant de l'air (Sinsin, 1993). Selon les travaux de Vissin (2007), d'Adjinacou et *al.*, (2004) de Vissin (2001), Le Barbe et

al., (1993), la zone de recherche présente les plus fortes durées d'insolation pendant tous les mois de l'année comparativement aux autres régions du pays. A cet effet, elle offre les meilleures conditions pour l'utilisation de l'énergie solaire (Pofagi et Tonouhewa, 2001). La connaissance des vents, agents de transport des masses d'air humide, est fondamentale pour l'explication de la distribution des pluies (Oumorou, 2003).

Vents

Deux types de vents de direction opposée sont dominants dans le secteur d'étude. Il s'agit de : l'alizé maritime et l'harmattan qui confluent le long de l'Equateur Météorologique (EM) formant la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) (Vissin, 2007).

L'alizé maritime souffle d'avril à novembre dans la direction sud-ouest avec une vitesse moyenne de 3 m/s (Arouna, 2012). La baisse considérable de la pluviométrie de septembre à octobre annonce la saison sèche.

Au cours de cette période, l'harmattan constitue le vent dominant. C'est un vent sec qui souffre de novembre à mars suivant une direction nord-est avec une vitesse moyenne de 2 m/s (Arouna, 2012). Il entraîne une baisse considérable de l'humidité relative durant la journée et un accroissement des écarts thermiques.

3.1.2.2- Contexte hydrogéologique et pédologique

3.1.2.2.1- Contexte hydrogéologique

La Commune de Kandi fait partie du sous bassin de l'Alibori qui est essentiellement composé de terrains primaires gneissiques avec des granites (figure 12) qui affleurent dans le haut bassin (Vissin, 2007 ; Vissin, 2001). C'est un domaine par excellence de sols ferrugineux qui résultent de l'altération de formations rocheuses en place (Alidou, 1986).

Les travaux de Alidou (1986) montrent une prédominance du grès à l'est, du gneiss, des micaschistes et leptinites à l'ouest. Les grès blancs, rouges ou jaunâtres et sédiments sablo-argileux s'étendent à l'est de la route Kandi-Malanville. Ce sont des sédiments meubles, parfois consolidés, très évolués montrant des alternances de conglomérats de grès ferrugineux. Les conglomérats sont essentiellement constitués de quartz. Les gneiss à deux micas, ferro-magnésiens et les gneiss à amphiboles sont très bien représentés à travers une bande parallèle aux conglomérats de la formation de Wèrè. Ce sont des roches de teint sombre riche en biotites mais pauvre en quartz et en feldspath. Les micaschistes occupent une large bande dans la localité de Sonsoro. Enfin les leptinites massives sont des roches de couleur claire. Ils

occupent une partie importante de la vallée de l'Alibori**.** La plupart des nappes aquifères se trouvent sous le socle cristallin, ce qui rend difficile le forage des puits (Alidou, 1986). Mieux, les potentialités de ressource en eau souterraine sont favorables dans les conglomérats du bassin de Kandi. Des débits d'exploitation de 10 à 40 m^3/h sont possibles à des profondeurs de 50 à 80 m avec un taux de réussite supérieur à 80 % (SBEE, 2003). Par contre, dans la zone du complexe migmatique, les potentialités de ressource en eau souterraine sont plutôt modestes. Des débits compris entre 2 et 5 m^3/h sont notés à des profondeurs inférieures à 45 m. Le taux de réussite d'essais de pompage varie de 50 à 70 % (SBEE, 2003). Les différentes formations géologiques expliquent la nature et les propriétés des sols dans la Commune de Kandi.

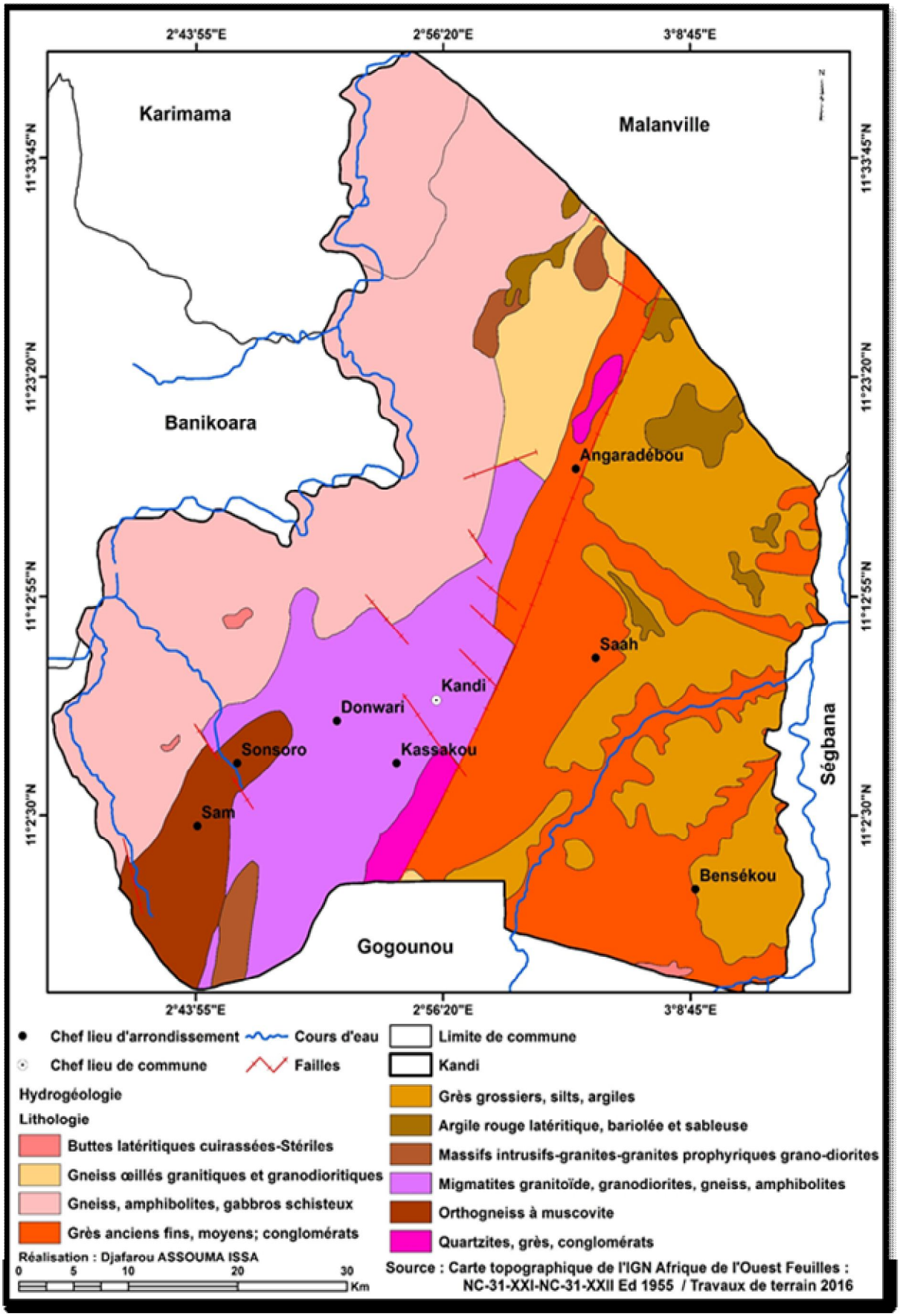

Figure 12 : Carte hydrogéologique de la Commune de Kandi. **Source** : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest. Travaux de terrain, 2016

3.1.2.2.2- Formations pédologiques

L'analyse des types de sols (figure 13) revêt une importance particulière en tant que support et réservoirs susceptibles de retenir une quantité variable d'eau dont une partie est restituée pour l'approvisionnement en eau des populations. La capacité de rétention de l'eau de façon durable par les sols est capitale dans le processus d'alimentation en eau. Dans les sols à matériaux sableux, l'eau est faiblement retenue et sa mobilité est généralement trop faible pour assurer une réserve hydrique durable (Assouma, 2011).

Les différents types de sols se distinguent de par leur degré d'individualisation des hydroxydes, le lessivage dans le profil et le mode d'altération. Les sols hydromorphes et ferrugineux tropicaux sont les plus dominants.

Les sols hydromorphes constituent des sols grumeleux avec un indice d'instabilité structurale inférieur à 1. Cependant, au-delà de 20 cm de profondeur, cet indice est supérieur à 1,5. Ce sont en général des sols profonds (> 1 m) avec une perméabilité moyenne en surface de l'ordre de 13.4 10^{-6} m/s. En profondeur, cette perméabilité est comprise entre 3 et 6 10^{-6} m/s. Leur érodibilité est moyenne, avec une valeur comprise entre 0,1 et 0,2. L'évolution de ces sols dépend de l'eau pluviale et de la remontée de la nappe phréatique (Vissin, 2007 ; Le Barbe *et al.*, 1993). Selon les sites, la réserve hydrique est de l'ordre de 75 ou 100 mm à 1 m de profondeur.

Les sols ferrugineux tropicaux sont caractéristiques d'un régime pluviométrique unimodal. Ces sols sont généralement marqués par un lessivage intense et une forte altération. Ils ont des propriétés hydrodynamiques moins bonnes que celles des sols ferrallitiques. Très souvent, ce sont des sols peu profonds, concrétionnés, avec des horizons bien différenciés et une couche humifère peu épaisse. Leur faible épaisseur, sur un substratum magmatique et cristallophyllien, induit l'absence de nappe phréatique. Par contre, des poches d'eau exploitables se situent sur les zones de broyage le long des fissures et des fractures de la roche-mère (Vissin, 2007 ; Boko, et *al.*, 1992). Ces sols résultent de l'altération des roches granitiques sous l'action des agents climatiques et biologiques. Au total, le contexte pédologique de la Commune de Kandi est caractérisé par la prédominance des sols ferrugineux tropicaux qui présentent une perméabilité moyenne, une faible profondeur, et surtout une faible capacité de rétention d'eau (Assouma, 2011 ; Démonlé, 1991). Au regard de ces caractéristiques, ils sont globalement favorables aux graminées pérennes, aux ligneux fourragers dont *Afzelia africana*, *Anogneissus leiocarpus vitellaria paradoxa*, *Khaya senegalensis* et *Daniellia oliveri*.

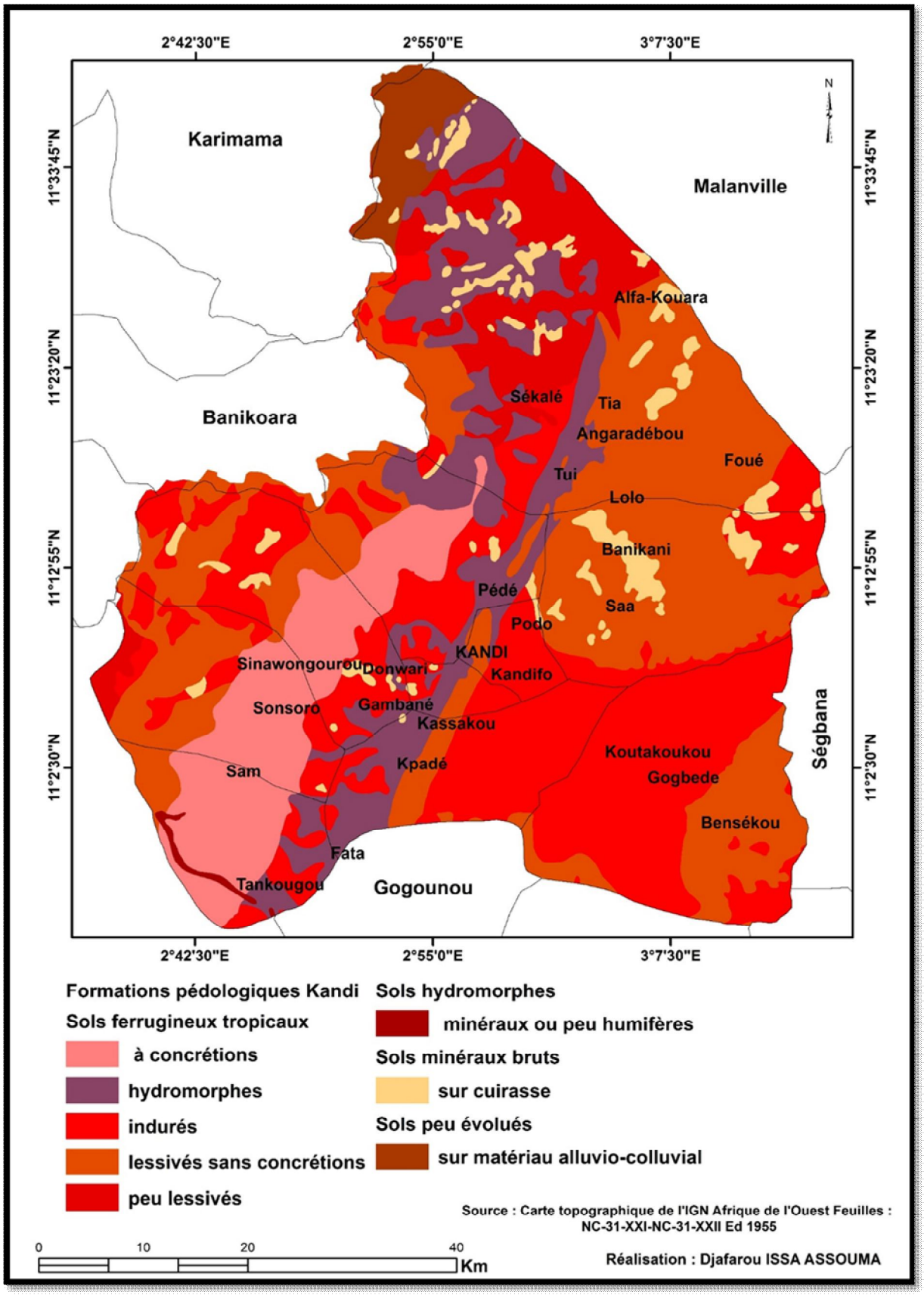

Figure 13 : Formations pédologiques de la Commune de Kandi. **Source** : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest ; Travaux de terrain, 2016

3.1.2.3- Formations végétales

Les formations végétales interviennent dans la pluviogenèse par leur contribution à l'évapotranspiration et au recyclage de l'eau atmosphérique (Saliou, 2015 ; Houndénou, 1999). En plus, les écosystèmes forestiers participent au maintien de l'équilibre écologique sans oublier les intérêts économiques et socio-cultuels qu'elles revêtent pour les communautés humaines.

L'état actuel du paysage végétal du milieu de recherche est le résultat de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques (Assouma, 2011). En effet, la couverture végétale de la Commune de Kandi est la trace au sol de la pluviométrie ; ce qui justifie la présence de savanes, de forêts claires et d'ilots de forêts denses sèches ou semi-décidues qui constitue l'essentiel des formations naturelles. A ces dernières s'ajoutent les formations anthropiques (champs, jachères, plantations).

Suivant les conditions phytosociologiques, les formations végétales sont essentiellement constituées de la savane arborée, la savane arbustive, la savane boisée et les galeries forestières et enfin les forêts classées.

Ces diverses formations végétales influencent le réseau hydrographique dans la Commune.

3.1.2.4- Relief et réseau hydrographique

3.1.2.4.1- Relief

La morphologie du relief comprend une série de cuesta aux sommets plats formée de cuirasses ou de grès ferrugineux (Démonlé, 1991 ; Alidou, 1986). C'est un ensemble formé de plateaux. Légèrement incliné vers la plaine alluviale du bassin du Niger à laquelle il se raccorde dans l'extrême nord, il est parsemé d'une multitude de petites buttes de cuirasses ferrugineuses à très faible dénivellation (Vissin, 2007 ; Adam et Boko, 1993 ; Le Barbe *et al.*, 1993).

Ce dernier s'étend de Kandi à Gogounou. D'une altitude variable de 200 à 400 m, (figure 14) il est découpé par des vallées encaissées, dans lesquelles coulent des rivières (Alibori et Sota) au réseau d'affluents relativement dense. L'écoulement de toutes ces rivières se fait dans le sens sud-nord conforme à l'orientation NNE-SSW des formations géologiques (Vissin, 2007).

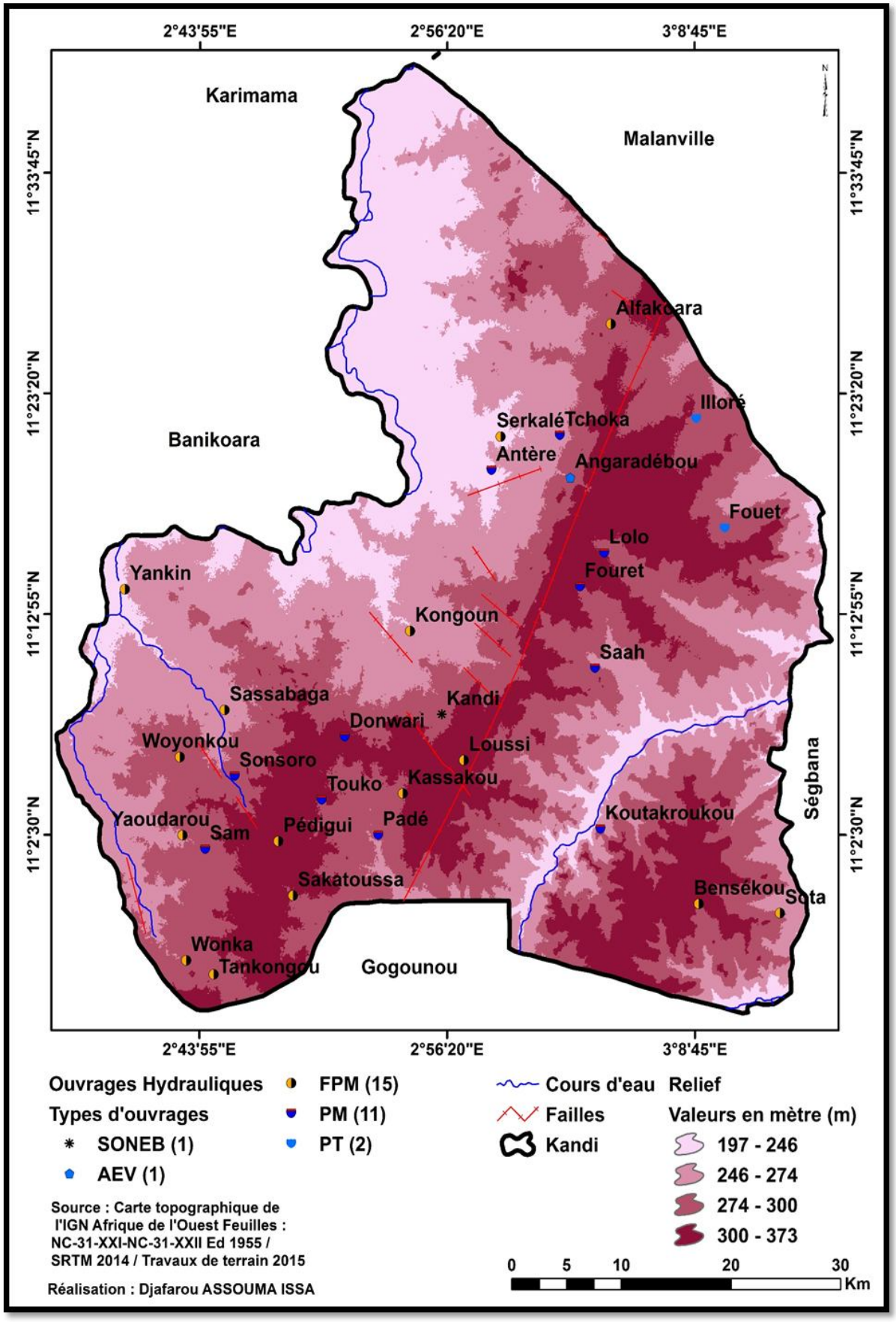

Figure 14 : Relief de la Commune de Kandi. **Source** : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest / Travaux de terrain, 2016

3.1.2.4.2- Réseau hydrographique

La Commune de Kandi est drainée par les rivières du bassin versant du Niger à l'exception du Mékrou qui plonge la frontière bénino-burkinabè à l'extrême ouest. Elle est donc arrosée par les affluents de l'Alibori et de la Sota (figure 15).

D'une longueur de 427 km, l'Alibori prend sa source à 360 m environ d'altitude dans le massif granitique de Kika (Vissin, 2007). Il va d'abord suivre une direction SSW-NNE puis contourner le massif granitique de Sinendé. 90 Km après sa source, l'Alibori va couler sur les leptynites et les gneiss du groupe de Djougou, qui sont en cet endroit très diaclasés et très mylonitisés. Dans son cours moyen, le lit de l'Alibori est ainsi coupé de nombreux rapides (Vissin, 2007). Elle suit d'abord une direction SSW-NNE, puis contourne le massif granitique de Sinendé pour décrire alors de nombreux coudes (Vissin, 2007 ; Adjinacou et *al.,* 2004 ; Le Barbe et *al.,* 1993). Si la pente moyenne du lit est faible, de 0,5 à 0,2 m/km, il y a cependant de nombreux rapides. 35 km avant sa confluence avec le Niger, l'Alibori va buter contre les escarpements des grès du continental terminal et suivre alors une direction NWW-SEE.

Le bassin de l'Alibori (13 740 Km²) est bordé : à l'ouest par les reliefs correspondant aux roches les plus basiques du groupe de Kandi ; à l'est par les collines quartzitiques du groupe de Badagba dans la région de Bembéréké puis par les reliefs sur les roches du groupe de Kandi. De ces reliefs, descendent divers affluents relativement peu importants qui constituent un réseau hydrographique "en arête" à peu près symétrique. Parmi ces rivières citons, d'amont vers l'aval : en rive gauche : *le Morokou, la Kpare, le Kénou, le Konekoga, le Kpako,* et en rive droite : *le Balobana, le Sonsoui, le Yagasso, le Gaboua, le Bombouri, l'Ini et le Diga (*Vissin, 2007).

Longue de 254 Km, la Sota draine une superficie de 13 410 Km^2 et prend sa source à plus de 400 m d'altitude sur les flancs est du plateau gréseux de Kalalé qu'elle va contourner par le nord avant d'emprunter la direction SSW-NNE sur les formations du socle. 90 km après sa source, elle pénètre dans les formations gréseuses du Crétacé qu'elle entaille assez profondément et rejoint après 254 km de parcours, le Niger, 1 km à l'aval de Malanville. Sur les 20 premiers Km de son parcours, les pentes sont élevées (8 à 4 m/Km), elles deviennent ensuite très modérées sauf au contact embréchites-gneiss de Djougou (3,7 m/Km).

Sur les formations gréseuses, le réseau hydrographique est très peu dense et aucun affluent en provenance du plateau de Kandi, n'a d'importance notable. En revanche, sur les granites et sur les formations gneissiques, le réseau hydrographique va être beaucoup plus dense.

Trois rivières importantes en provenance de ces zones sont à signaler : *le Tassine* : 3031 Km^2 pour une longueur de 102 Km ; *la Bouli* : 2380 Km^2 pour une longueur de 145 Km ; *l'Irane* : 1832 Km^2 pour une longueur de 95 Km (Vissin, 2007). Ces deux dernières entaillent elles aussi le plateau gréseux avant de rejoindre la Sota.

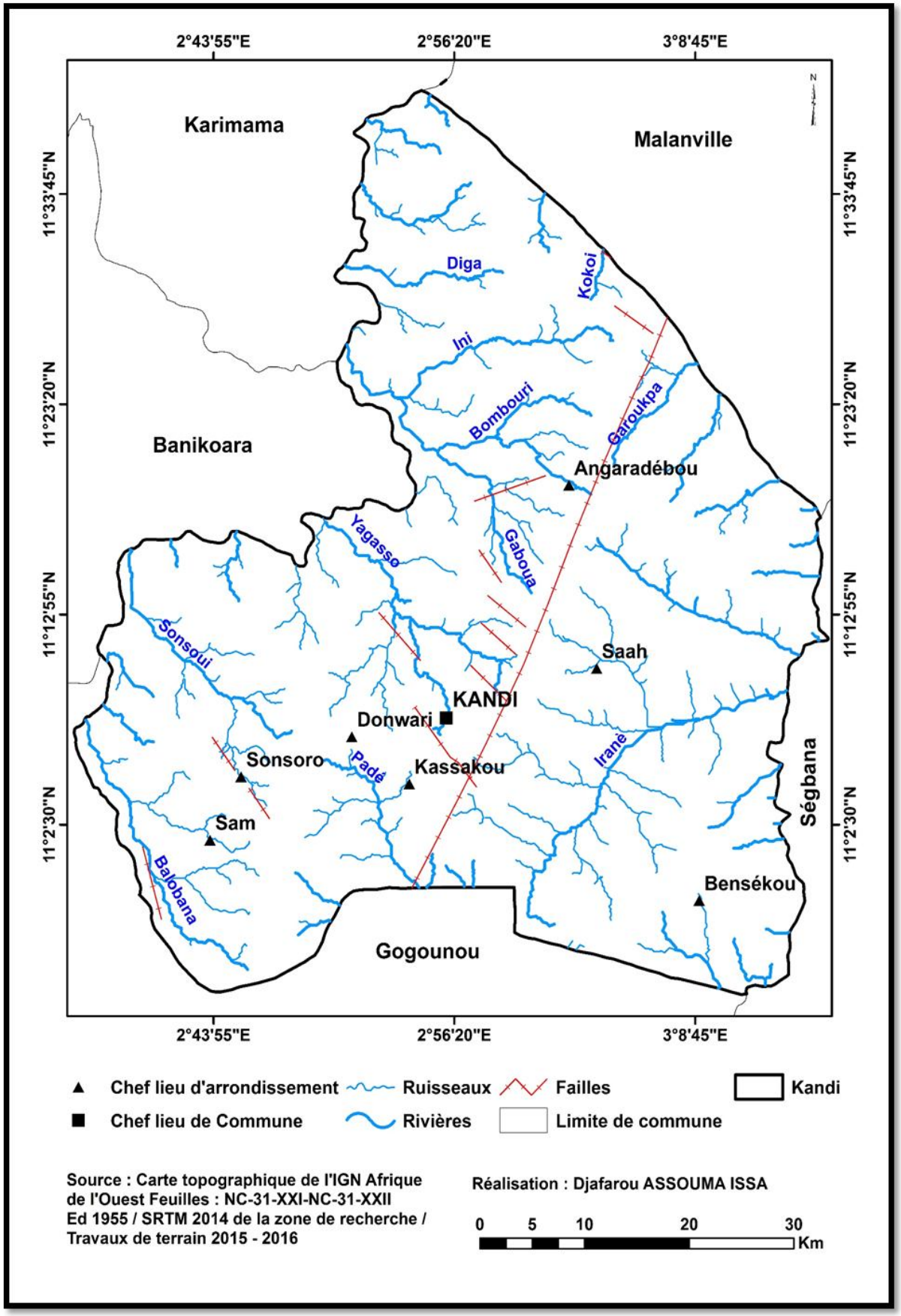

Figure 15 : Réseau hydrographique de la Commune de Kandi. **Source** : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest / SRTM 2014 de la zone de recherche / Travaux de terrain, 2016

Ce riche potentiel en cours d'eau dans la Commune de Kandi constitue une force en matière d'approvisionnement en eau non seulement pour l'alimentation en eau dans les ménages mais aussi pour la diversification des activités socio-économiques.

3.1.3- Caractéristiques socio-démographiques et économiques

Le contexte socio-économique et démographique de la Commune de Kandi concerne l'évolution démographique, les groupes socio-culturels qui y résident et les activités économiques qu'ils y mènent.

3.1.3.1- Evolution démographique

Selon les résultats des deux derniers recensements généraux de la population et de l'habitation, la population de la Commune de Kandi est passée de 95 206 habitants en 2002 à 179 290 habitants en 2012 soit une augmentation de 84 084 habitants. La population de Kandi (Figure II ; Annexe) est jeune (51 % ont moins de 15 ans contre 53,4 % pour l'Alibori) et inégalement répartie (figure 16). La population urbaine est de 56 043 habitants. Le taux d'urbanisation est de 29 %. La densité (Figure III ; Annexe) quant à elle, est de 52,40 habitants au Km^2 (INSAE / $RGPG_4$, 2015).

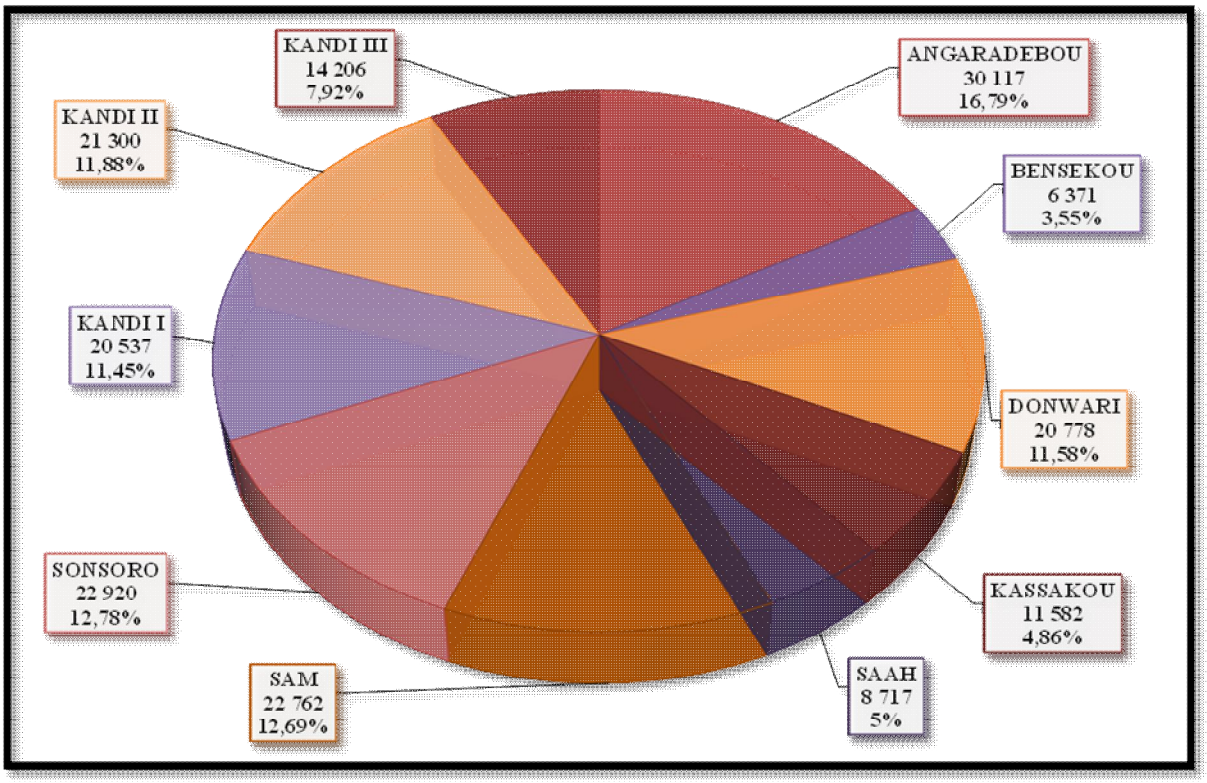

Figure 16 : Population la Commune de Kandi par arrondissement au $RGPH_4$.

Source : INSAE, 2015

L'analyse de cette figure 16 montre que les arrondissements d'Angaradébou (16,79 %), de Sonsoro (12,78 %), de Sam (12,69 %), de Donwari (11,58 %), de Kandi 2 (11,88 %) et de Kandi 1 (11,45 %) sont les plus peuplés de la Commune. Ces chiffres traduisent le caractère encore dynamique de la démographie dans cette Commune à l'instar de la tendance départementale. Cette croissance démographique fait augmenter les besoins en eau des populations. Ainsi, pour satisfaire ces besoins, les communautés s'orientent vers divers types de sources d'approvisionnement en eau.

3.1.3.2- Groupes socio-culturels

La Commune de Kandi présente une diversité socio-culturelle liée à la répartition spatiale de la population. On y rencontre une forte hétérogénéité sociale et la répartition géographique de la population se trouve marquée par une base ethnique. Les groupes socio-culturels rencontrés sont composés de :

Le premier groupe concerne les Baatombu qui sont très majoritaires dans les arrondissements de Donwari, de Kandi 1, de Kandi 2, de Kassakou, de Sam et de Sonsoro. Il constitue le groupe le plus important du milieu de recherche. Il représente 31,38 % du point de vue du poids démographique (INSAE, 2013). Leurs principales activités reposent sur l'agriculture et l'élevage domestique.

Le deuxième groupe est constitué des Peulh et apparentés. Ce groupe composé des Peulh et des Gando est présent dans tous les arrondissements. Il constitue 30,41 %. L'agropastorale constitue leur principale activité.

Le troisième groupe est celui des Mokolé. Ce groupe est majoritairement présent dans les arrondissements d'Angaradébou, de Bensékou, et de Saah. Il représente 15 % de la population totale. L'agriculture et l'élevage domestique demeurent leurs principales activités.

Le quatrième groupe est celui des Dendi. Ce groupe est présent dans tous les arrondissements. Il constitue 9,47 % de la population. Le commerce constitue l'activité dominante de ce groupe.

Le cinquième groupe concerne les Yoruba qui sont aussi présents dans les tous les arrondissements. Ce groupe représente 5,93 %. Leur principale activité repose sur le commerce.

Le sixième groupe est constitué de Fon. Il est également présent dans tous les arrondissements surtout dans les arrondissements urbains (Kandi 1, Kandi 2, et Kandi 3). Il représente 1,65 % de la population totale. Le commerce et l'artisanat constituent leur principale activité.

Le septième groupe est celui des Adja qui se sont installés dans les dix arrondissements. Ce groupe constitue 0,3 %. Le commerce et l'artisanat demeurent leur principale activité.
Le huitième groupe concerne les Otamari et apparentés. Ce groupe représente 0,2 % de la population. L'agriculture est leur principale activité.
Le neuvième groupe regroupe les Lokpa et apparenté. Il constitue 0,1 % de la population totale. Leur principale activité demeure l'agriculture.
Les autres groupes représentent 5,56 % de l'effectif total de la population.
Tous ces groupes socio-culturels dans leurs vécus quotidiens utilisent l'eau pour satisfaire leurs besoins. Mais, la portée de l'eau varie d'un groupe socio-culturel à un autre.

3.1.3.3- Place et sacralisation de l'eau selon les ethnies dans la Commune de Kandi

3.1.3.3.1- Place de l'eau selon les ethnies dans la Commune de Kandi

L'eau constitue un élément fondamental pour l'installation des populations dans un site donné (Assouma, 2011). Les différentes communautés se sont installées dans la Commune de Kandi en raison de ses potentialités en ressources naturelles et particulièrement de ses divers points d'eau. Appelée Nim en Baatonou, Igni en Mokolé, Hari en Dendi, Diam en peulh, Omi en Yoruba et Sim en Fon, l'eau, source de vie occupe une place de choix au sein des communautés.
En effet, en dehors de ses usages courants (ménage, agriculture, etc.), elle intervient dans toutes les cérémonies d'invocation des mânes des ancêtres, soit pour obtenir leur faveur, soit pour implorer leur pardon et leur clémence. Elle sert à nettoyer le nouveau-né et à purifier les dépouilles mortelles (Vissin, 2007). Pour ce même auteur, l'eau constitue également une ressource précieuse de grande importance. Ainsi pour accueillir un étranger, les populations de la Commune de Kandi versent de l'eau par terre là où l'hôte doit passer pour rentrer dans la demeure d'accueil. Ce geste symbolise que l'étranger rentre en paix dans cette maison et qu'il est le bienvenu.
Selon les Baatombu, Boo et Mokolé de la Commune de Kandi, certains cours et plans d'eau sont perçus comme un site privilégié de vie des divinités. Ces sites constituent des endroits où se font des sacrifices périodiques. Ainsi, des animaux (poulets, cabris, bœufs) sont immolés en fonction de l'importance de l'événement. Des offrandes aux dieux de l'eau et aux mânes des ancêtres sont organisées pour conjurer les disettes, les épidémies et les autres malheurs ou implorer leurs bienveillances (Travaux de terrain, 2016).

3.1.3.3.2- Sacralisation des cours et plans d'eau dans la Commune de Kandi

Certains cours et plans d'eau de la Commune de Kandi sont adorés par les populations. Au nombre de ces cours et plans d'eau adorés, se trouvent : Ido-tchou à Angaradébou, Sosso à Kandifô, Gansosso-darou et Faranguérou à Kandi 1, Padé-darou à Padé, Donwari-darou à Donwari. Ces cours et plans d'eau sont vénérés à cause de la présence des caïmans à Ido-tchou, à Sosso, Faranguérou, Padé-darou, et à Donwari-darou ; des boas surtout à Sosso et à Gansosso-darou. Ces cours et plans d'eau sont honorés chaque année par des personnes initiées pour conjurer le mauvais sort (maladies, mauvaise récolte, infécondité) et implorer le pardon des dieux.

Par ailleurs, des interdits sont à respecter. Entre autres, une femme ne doit pas laver ses couches dans ces cours et plans d'eau, de peur de perdre sa fécondité. Ne pas tuer ou faire du mal à ces animaux de peur de subir la colère des dieux ou des ancêtres.

3.1.3.4- Transmission des maladies hydriques et leur prévalence dans la Commune de Kandi

Les maladies liées à l'eau dans la Commune de Kandi peuvent être classées en quatre groupes.

3.1.3.4.1- Maladies hydriques transmises par les germes contenus dans l'eau

Cette catégorie regroupe les maladies issues de la consommation d'une eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques donc transportant des germes pathogènes et autres substances toxiques. C'est le cas du choléra, la fièvre typhoïde, la poliomyélite, l'hépatite A et E, les diarrhées etc. En 2016, le département de l'Alibori a enregistré 256 cas de méningite (Hôpital de zone Kandi / SNIGS / MSP / 2016). La Commune de Kandi a connu 35 cas de cette maladie. Dans la même période, le Bénin a recensé 78 640 cas de diarrhée fébrile. Le département de l'Alibori a recensé 9 783 cas de diarrhée fébrile dont 2 947 cas pour la Commune de Kandi (Hôpital de zone Kandi / SNIGS / MSP / 2016). Les diarrhées fébriles représentent 45 % de l'ensemble des maladies diarrhéiques en général dans l'ensemble du pays et 48 % en particulier dans l'Alibori (Hôpital de zone Kandi / SNIGS / MSP / 2016).

3.1.3.4.2- Maladies hydriques issues de micro-organismes résidant dans l'eau

L'eau sert d'espace vital à certains organismes et leurs cycles de vie. L'homme ferme ce cycle par son contact avec cette eau (lavage, baignade, défécation, passage) en y apportant des microbes d'une part et en l'absorbant d'autre part. L'absorption peut se faire par voie orale ainsi que cutanée. Les maladies issues de micro-organismes résidant dans l'eau sont causées par toute une variété de plathelminthes (vers plats), et némathelminthes (vers ronds), qui infectent les humains. Parmi elles, on peut citer : la schistosomiase (bilharziose), la dracunculose (ver de Guinée). Bien que ces maladies ne soient pas généralement mortelles, elles empêchent les personnes atteintes de vivre normalement, en diminuant leurs capacités de travail. Au Bénin, en 2016 par exemple 181 cas de dracunculose ont été recensés par le MSP. Le Zou et les Collines restent les départements les plus touchés avec 165 cas, ce qui représente la quasi-totalité des cas (91,16 %) (Hôpital de zone Kandi / SNIGS / MSP / 2016). La Commune de Kandi n'a pas connu de cas de cette maladie durant cette période.

3.1.3.4.3- Maladies hydriques transmises par les vecteurs extérieurs à l'eau

Les flaques d'eau favorisent le développement des vecteurs qui sont à la base de plusieurs maladies d'origine hydrique. Ces maladies sévissent dans les zones tropicales humides d'Afrique et dans les régions chaudes et humides d'Amérique Latine (Assouma, 2011). Il s'agit des vecteurs tels que : l'anophèle du paludisme, la mouche tsé-tsé de la maladie du sommeil, le moustique aèdes de la fièvre jaune et le culex de la filariose. La Commune de Kandi a recensé 30 487 cas de paludisme toutes formes confondues en 2016 (Hôpital de zone Kandi / SNIGS / MSP / 2016). Cette maladie représente 62 % des cas des maladies hydriques à Kandi. L'onchocercose classée dans cette catégorie est une maladie parasitaire encore présente dans certaines localités du Bénin. Elle engendre la cécité. Le parasite responsable est un ver véhiculé par une mouche, la simulie, dont les larves vivent dans les eaux courantes.

3.1.3.4.3- Maladies hydriques dues à la mauvaise qualité de l'hygiène et de l'assainissement de base

Ce sont des maladies qui se développent dans les régions où l'eau est rare et les systèmes d'assainissement faibles. Au nombre de ces maladies nous pouvons citer les maladies diarrhéiques endémiques, le trachome, la tuberculose etc. Ces maladies peuvent être contrôlées facilement grâce à une meilleure hygiène et un système d'approvisionnement adéquat en eau potable.

3.1.4- Activités économiques

La position centrale de la Commune de Kandi et l'importance des activités commerciales qui s'y développent lui confèrent un rôle de premier plan dans les flux d'échanges régionaux. L'économie locale est essentiellement agricole avec une large part aux cultures vivrières (sorgho ou *Sorghum bicolor*, maïs ou *Zea mays*, riz ou *Oryza sativa*, manioc ou *Manihot esculenta*). Ces cultures sont associées à d'autres telles que les oléagineux (arachides ou *Arachis hypogaea*) et légumineuses. Ces produits servent à la consommation locale. Les surplus sont écoulés vers les marchés locaux notamment le grand marché de Kandi et celui de Malanville. Les autres activités économiques regroupent entre autre l'élevage, l'artisanat, le petit commerce et la restauration. Le taux d'activité est de 60 % dont 8,2 % de taux d'emploi informels (INSAE, 2013). Le marché central de la ville est le principal équipement commercial. Selon la Direction financière de la Mairie, ce marché central accueille près de 800 équipements marchands.

Les atouts touristiques sont fournis par le parc W du Niger et doublé de la zone cynégétique de la Djona où l'on peut chasser et photographier une faune variée pendant la saison touristique. Les gares routières et la piste d'aviation constituent l'essentiel des équipements de transport de la Commune. Des abonnés de la SONEB ont même érigé des pompes dans l'enceinte de ces équipements marchands (marchés et gares routières) pour la vente de l'eau, en dehors des « pures water ». Les plans d'eau (retenues d'eau) sont aussi valorisés dans diverses activités économiques notamment l'agriculture, l'élevage et la pêche.

3.1.4.1- Agriculture

Le potentiel économique de la Commune de Kandi repose fondamentalement sur l'agriculture. Il s'agit d'une agriculture extensive qui occupe la quasi-totalité de la population encadrée principalement par les agents du Secteur Communal pour le Développement Agricole (SCDA), les Organisations Non Gouvernementales (ONG) locales et l'Union Communale des Producteurs (UCP). Les paysans qui, autrefois cultivaient beaucoup de vivres ont adopté la monoculture en privilégiant la culture du coton. La quasi-totalité des nouvelles terres défrichées revenait au coton. Au bout de deux à trois ans, ces sols, épuisés par le coton, sont cédés aux autres cultures qui bénéficient des arrières effets des engrais utilisés pour le coton. Le maïs, le sorgho et le soja interviennent en culture pure ou en association pendant environ deux ans. Les pratiques agricoles sont souvent fondées sur les connaissances endogènes. L'apparition de certaines espèces comme par exemple *l'Impérata cylindrica* dans les champs indique que le sol est pauvre. L'agriculture industrielle porte essentiellement sur le

coton, l'arachide auxquels sont directement liés certains établissements industriels (usine d'égrenage de coton). En ce qui concerne le riz, il se cultive hors assolement dans les bas-fonds et le manioc est une culture non exigeante. Pour régénérer le sol, la plupart des producteurs cultivent l'arachide, le pois d'angole et le niébé avant de finir la rotation par le manioc. Les produits maraîchers sont également cultivés (tomate, gombo, piment). Tous ces produits cultivés dans la Commune ont fortement besoin de l'eau pour leur croissance et développement. Pour le choix du sol, il est basé sur les caractéristiques physico-chimiques du sol en rapport avec les exigences de chaque culture. Soucieux de l'augmentation des rendements et de la nécessaire diminution des pertes après récolte, les paysans font souvent recours aux pesticides de synthèse dans la lutte anti-vectorielle. Ce comportement à risque génère des nuisances sanitaires et environnementales aux sources d'approvisionnement en eau, aux populations rurales et aux écosystèmes naturels.

3.1.4.2- Elevage

Le secteur de l'élevage participe à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. Il contribue à la traction animale, au transport et à la fertilisation des champs de culture. Il est du type extensif et constitue la seconde activité de la population agricole. Il reste la principale activité des Peulhs sédentaires ou nomades. Il est mené aux abords des exploitations agricoles où les animaux broutent des herbes contaminées et/ou s'abreuvent dans des plans d'eau exposés à la contamination des pesticides. Le cheptel est composé d'un nombre important de bovins, d´ovins, de caprins et de volailles. Il se pratique de façon rudimentaire et est confronté aux problèmes d'alimentation et d'abreuvement en saison sèche. C'est surtout l'élevage de bovins qui bénéficie d'un soutien technique. L'élevage de gros bétail est très répandu dans la Commune et permet le développement de la culture attelée. Il est essentiellement pratiqué par les fulbé disséminés dans des campements. L'élevage est souvent basé sur un système de transhumance. Les éleveurs parcourent de longue distance avec leur bétail pour les faire paître et les abreuver. D'autant plus que les herbacées dont se nourrissent les bovins sont détruits ou même brûlés pendant la préparation des champs de coton, les feuilles de certains ligneux sont coupées par les éleveurs pour nourrir le bétail. C'est le cas de l'*Afzélia africana* qui se présente souvent presque sans feuillage. Suivant le système d'élevage, presque la moitié du cheptel part en transhumance pendant la période de janvier à mai. Ainsi, ces transhumants à la recherche d'herbes fraîches et/ou de points d'eau pour le bétail créent des dommages aux cultures des paysans. Ces actes qui frisent le sabotage sont souvent sources d'affrontements

parfois dramatiques. Du mois de juin à décembre, les bovins sont sur les terroirs villageois pendant la saison de cultures et séjournent toutes les nuits dans les parcs. L'existence des pâturages dans les formations savanicoles et les points d'abreuvage le long des cours d'eau au cours de cette période, constituent des facteurs qui motivent les peuls à y rester dans la Commune.

3.1.4.3- Pêche

La pêche est pratiquée de manière artisanale au niveau des retenues d'eau, mares et sur les rivières de l'Alibori et de la Sota. Elle utilise des techniques rudimentaires comme des hameçons, de petits filets, des nasses et même parfois des extraits de plantes toxiques ou de pesticides de synthèse. Ces différentes techniques utilisées contribuent largement à la dégradation de la qualité de ces sources d'approvisionnement en eau. Selon les données recueillies au Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural (CARDER) et à la Mairie de Kandi, la Commune dispose de 19 retenues d'eau. Les retenues d'eau sont gérées par un comité mis en place. Elle est pratiquée par les autochtones et des étrangers nigériens, burkinabés et nigérians.

3.2- Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi

3.2.1- Typologie des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi

Les travaux de terrain effectués sur le territoire communal montrent que les populations s'alimentent à partir des ouvrages hydrauliques réalisées par la Direction Générale de l'Eau (DG Eau), le réseau d'adduction d'eau de la SONEB, des Puits Traditionnels (PT), des retenues d'eau, des mares et des rivières.

3.2.1.1- Répartition spatiale des infrastructures hydrauliques de la DG Eau

La carte des infrastructures hydrauliques a été obtenue suite à l'extraction du milieu de recherche suivie de la projection des coordonnées rectangulaires des ouvrages hydrauliques. Pour distinguer les infrastructures hydrauliques, les différents symboles ont été affectés à chaque type d'ouvrage identifié (FPM, PM, FCP, BF). La figure 17 présente la répartition spatiale des ouvrages hydrauliques.

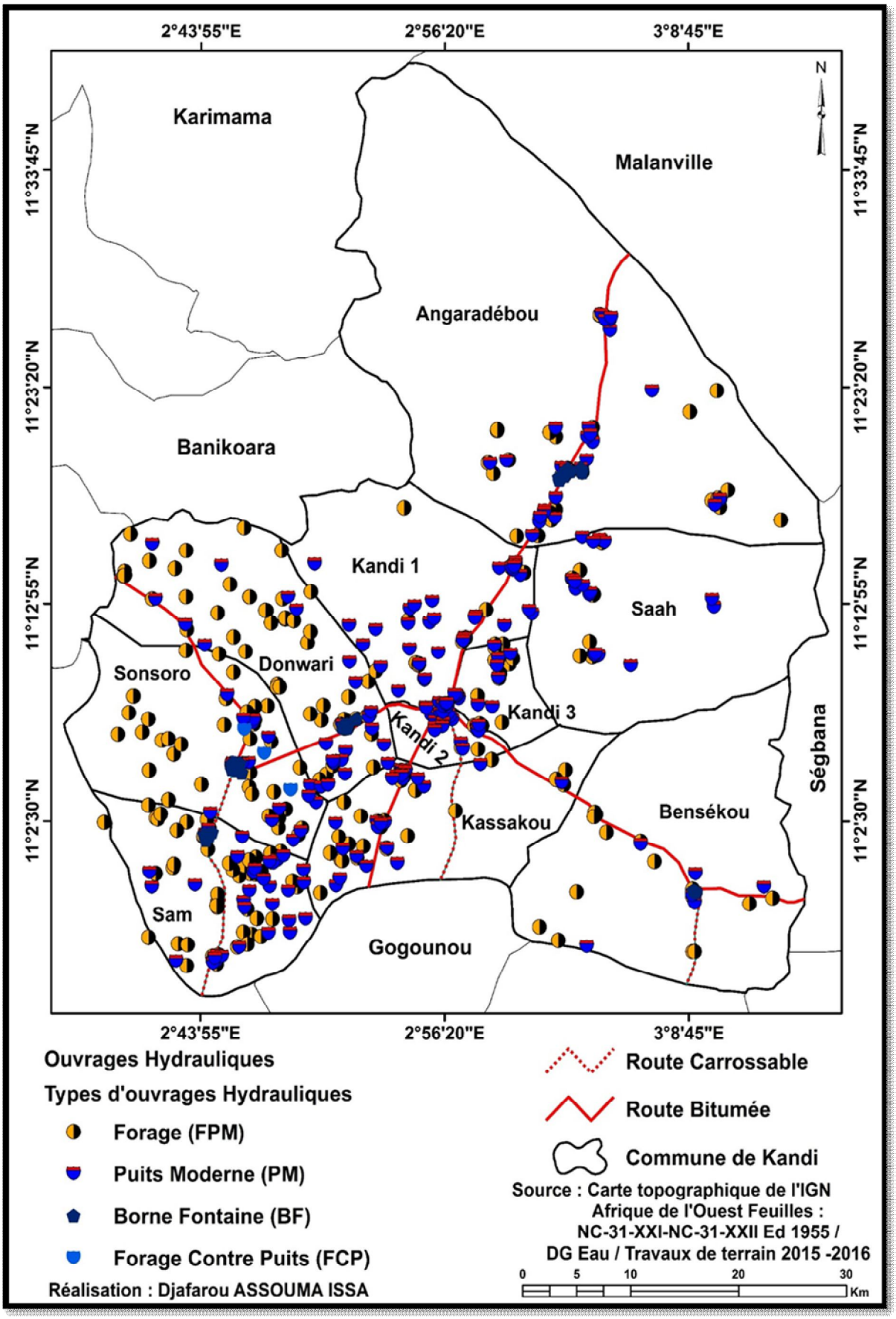

Figure 17 : Répartition spatiale des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi.

Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 17 présente la répartition spatiale des infrastructures hydrauliques par arrondissement dans la Commune de Kandi.

L'analyse de cette figure 17 montre que le parc d'infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi est inégalement réparti et moyennement fourni. Il est dominé par la présence des Puits Modernes à grand diamètre (PM) et de Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM) aussi bien à pieds qu'à mains. Par ailleurs, les ouvrages d'eau sont plus concentrés au sud-est (arrondissements de Sam, de Sonsoro, de Donwari, de Kassakou). Mais dans tous les arrondissements, les populations continuent d'utiliser en grande partie l'eau des puits traditionnels dont la qualité est douteuse et pose de sérieux problèmes de santé publique. Pour mieux appréhender la répartition spatiale des infrastructures hydrauliques sur le territoire communal, une représentation par type d'ouvrage a été réalisée (figures 17 à 18).

3.2.1.1.1- Répartition spatiale des Forages équipés de Pompes à Motricité humaine (FPM)

Un forage est un ouvrage de captage de l'eau souterraine de petit diamètre (en général 15 à 40 centimètres) réalisé à l'aide de moyen matériels importants (Assouma, 2011). Les Forages équipés de Pompes à Motricité humaine (FPM) sont des ouvrages d'eau de petits diamètres, réalisés par des machines coûteuses. Selon la DG Eau (2010), les margelles et aménagements de surface constituent la « superstructure » qui prend en compte les modalités d'accès à la pompe, les facilités d'usage, d'entretien et d'assainissement. Selon cette même source, un FPM dessert une population de 250 habitants.

La répartition spatiale des FPM dotés de pompes manuelles par arrondissement dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 18.

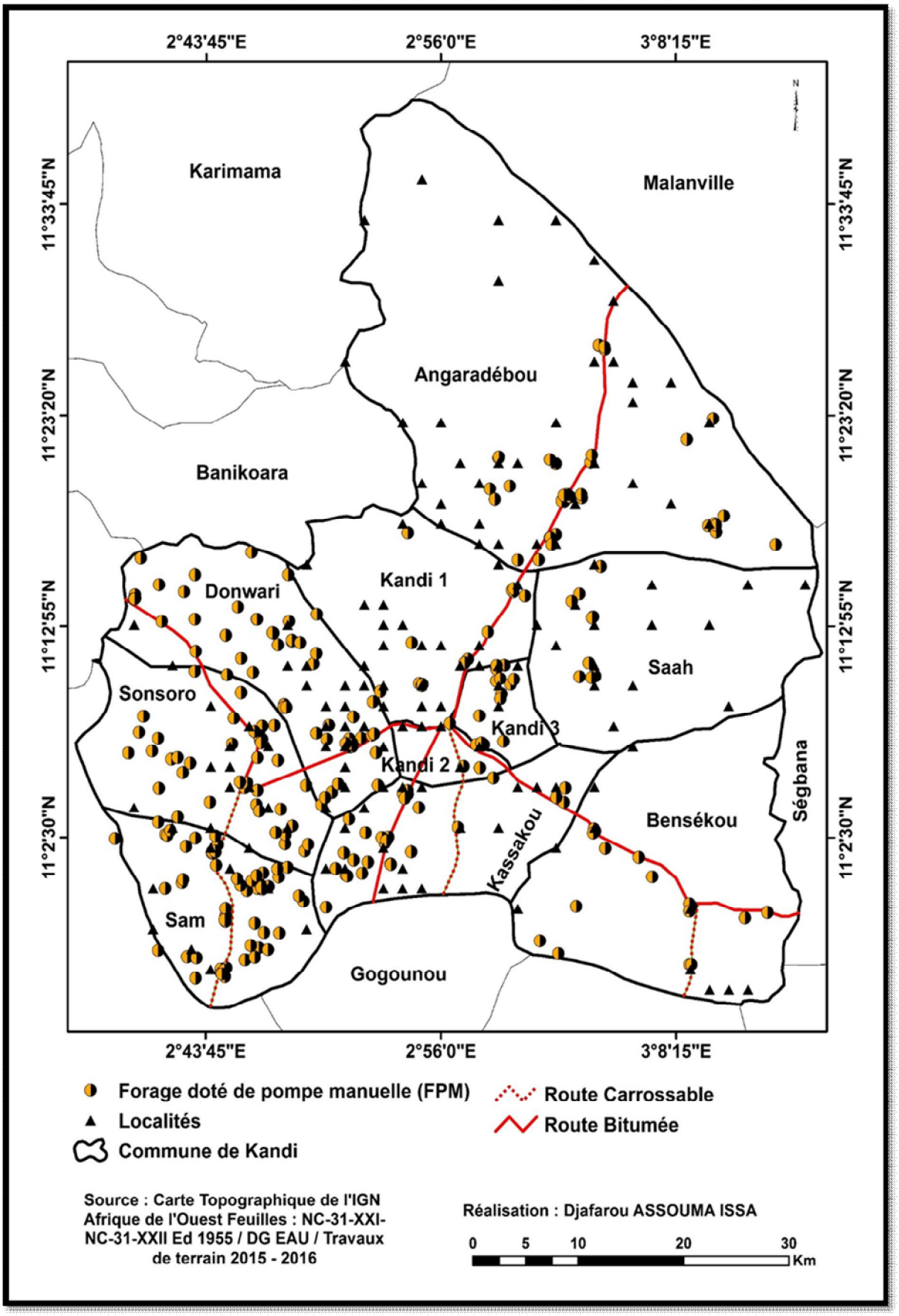

Figure 18 : Répartition spatiale des Forages équipés de Pompes à Motricité humaine (FPM) dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 18 présente la répartition spatiale des forages par arrondissement dans la Commune de Kandi. Elle montre que les forages (FPM) sont plus concentrés dans les arrondissements de Sam, de Sonsoro, de Donwari et de Kassakou. Cette situation s'explique par la présence non seulement d'une forte concentration humaine mais aussi de plusieurs camps peuls enquêtes de pâturages et de points d'eau pour l'abreuvement des animaux. La faible représentation de ces forages dans les autres arrondissements se justifie selon le Service Eau de la Mairie par le fait que près de 50 % du territoire de ces arrondissements sont occupés par la forêt classée de la Sota dans les arrondissements de Bensékou et de Saah et la zone cynégétique de la Djona dans l'arrondissement d'Angaradébou. La Commune dispose également des Puits Modernes à grand diamètre (PM).

3.2.1.1.2- Répartition spatiale des Puits Modernes à grand diamètre (PM)

Les Puits Modernes à grand diamètre (PM) sont des puits creusés soit à la main dans les terrains tendres, soit au marteau - piqueur dans les terrains durs ou parfois avec explosif dans les zones très dures du socle. La paroi d'un puits moderne est revêtue avec des buses en béton armé empilées les unes sur les autres. Le niveau d'eau est aussi composé de buses en béton armé mais percées de nombreux trous (buses crépinées) pour laisser passer l'eau contenue dans le terrain à l'intérieur du puits. La hauteur du captage est au minimum de trois mètres et peut atteindre une dizaine de mètres dans les terrains peu perméables. Le forage des puits modernes coûte trop cher.

La répartition géographique des Puits Modernes à grand diamètre (PM) par arrondissement dans l'espace communal de Kandi est présentée dans la figure 19**.**

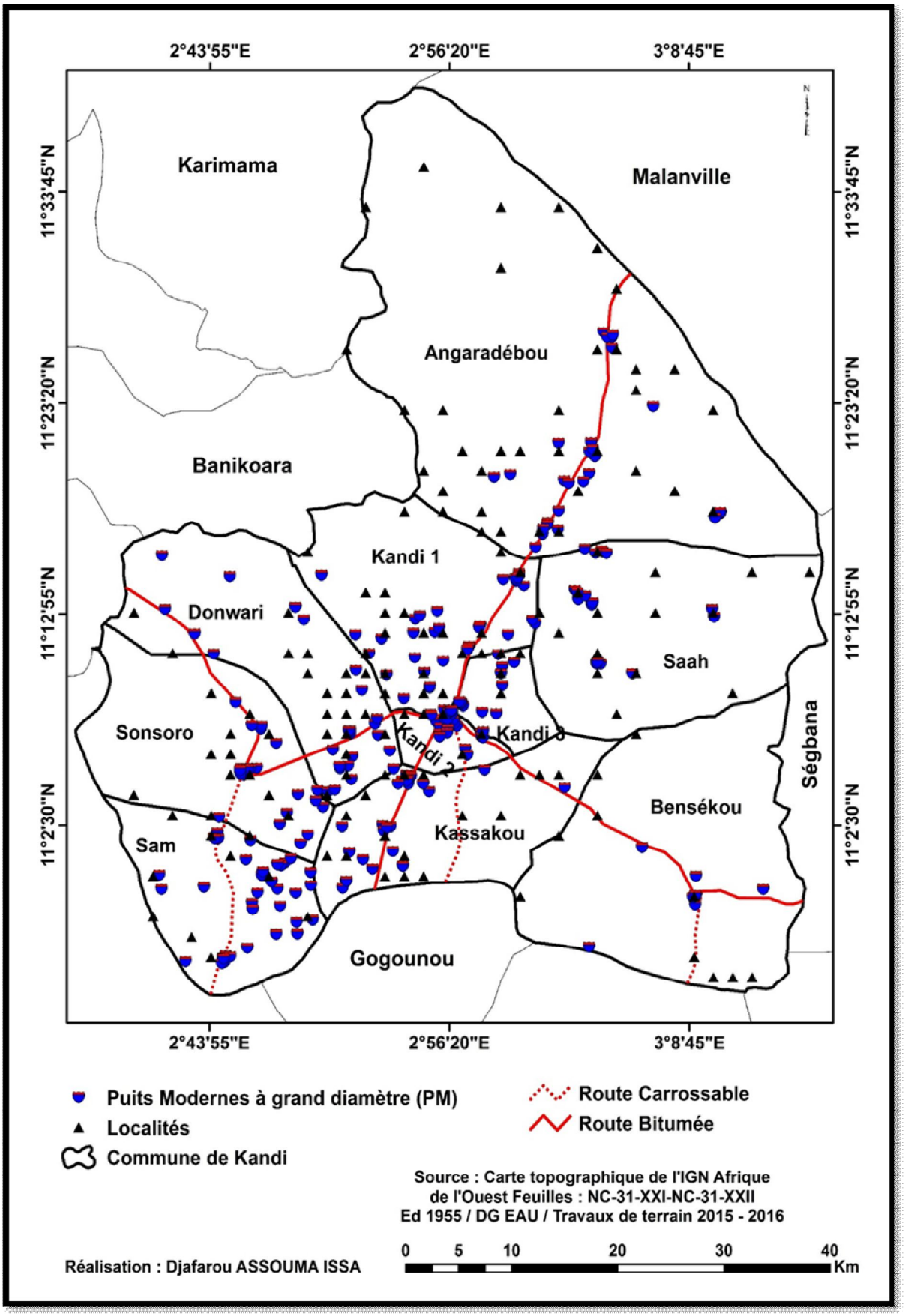

Figure 19 : Répartition spatiale des Puits Moderne à grand diamètre (PM) dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

L’analyse de cette figure 19 montre que les Puits Modernes à grand diamètre (PM) sont plus concentrés le long des routes bitumées et dans les arrondissements de Sam, de Sonsoro, de Donwari, de Kassakou, et des arrondissements urbains. Par contre, les arrondissements de Bensékou, de Saah et d’Angaradébou sont moins couverts par les PM. La présence des Bornes Fontaines (BF) reliées aux Adductions d’Eau Villageoises (AEV) est aussi notée dans la Commune. Ces BF sont également d’une importance capitale dans l’alimentation en eau des populations.

3.2.1.1.3- Répartition spatiale des Bornes Fontaines (BF)

Les Bornes Fontaines (BF) sont reliées aux AEV. Ces dernières sont généralement constituées d’un forage équipé d’un système de pompage motorisé relié à un réservoir de stockage et à un réservoir de distribution d’eau (photo 1). L’eau est distribuée à travers des canalisations enterrées au moyen de bornes fontaines et de branchements particuliers. Les AEV présentent de nombreux avantages par rapport aux ouvrages simples :

- Suppression du pompage manuel ;
- Moins d’attente aux points de distribution ;
- Des points de distribution plus proches des consommateurs ;
- Possibilité, sous certaines conditions de disposer de branchements particuliers à domicile ;
- Possibilité d’extension du réseau sans investissements lourds.

Les AEV sont une bonne solution pour l’alimentation en eau des villages importants totalisant plus de 2000 habitants ou pour des groupes de villages et localités les uns des autres. Selon la DG Eau, une BF alimente une population de 500 habitants.



(a) (b)

Photo 1 : AEV à Donwari et une BF à dans un quartier de Donwari

(Prise de vue, Assouma, mars 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(a) : Cette photo 1(a) montre une AEV entièrement protégée. Cette AEV dessert les BF à travers un dispositif de pompage.

(b) : Cette photo 1(b) montre une BF au cœur des habitations dans un quartier de Donwari centre. Les alentours sont relativement propres ; seulement que les populations exercent les activités de ménage auprès de cet ouvrage.

La répartition spatiale des BF par arrondissement dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 20.

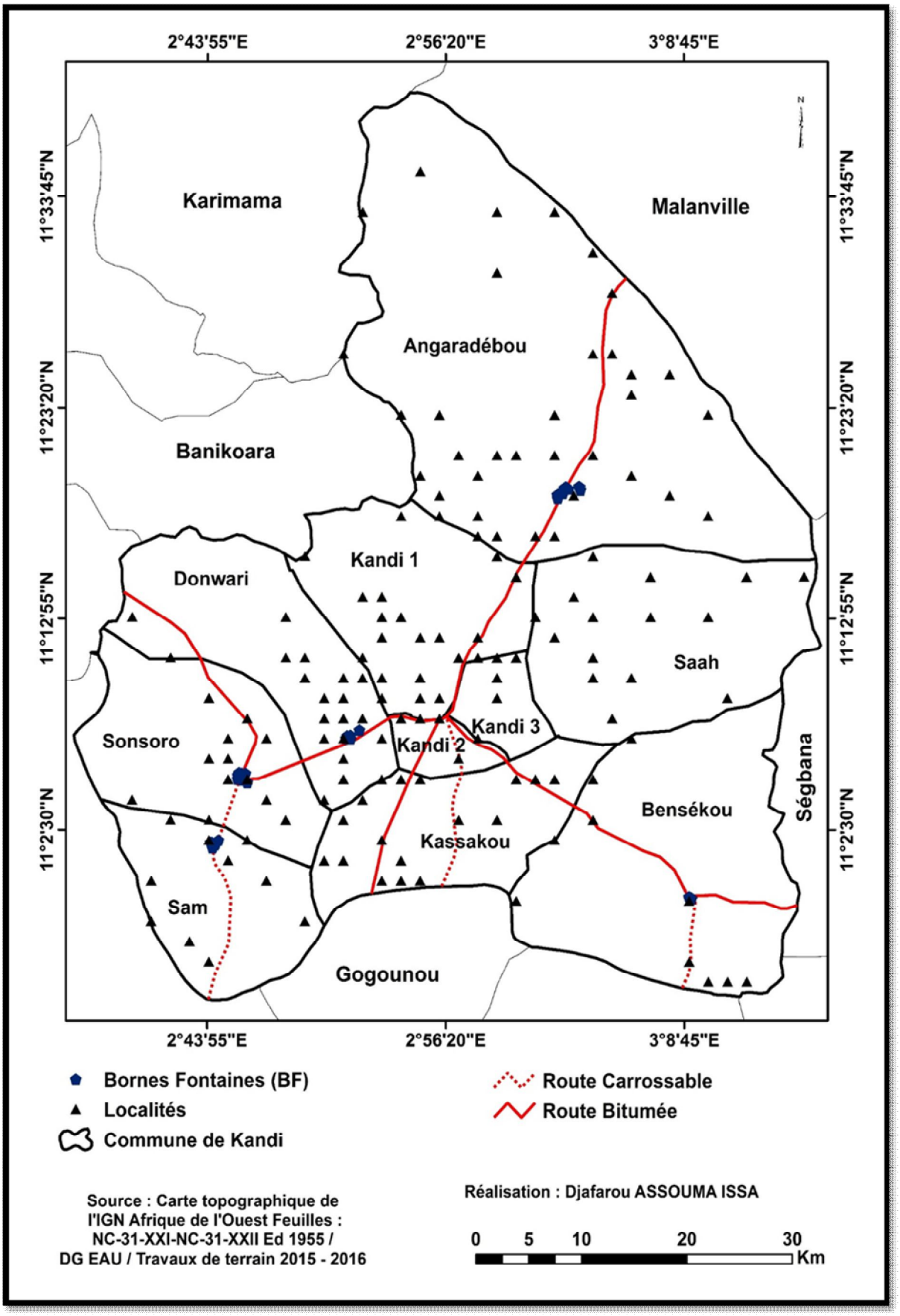

Figure 20 : Répartition spatiale des Bornes Fontaines (BF) dans la Commune de Kandi.

Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

La figure 20 présente la situation géographique des BF/AEV dans la Commune de Kandi. L'analyse de cette figure 20 permet de noter que les BF/AEV sont érigées dans les chefs-lieux des arrondissements d'Angaradébou, de Bensékou, de Donwari, de Sam et de Sonsoro. Le reste des arrondissements est dépourvu de ces BF. Ainsi, la Commune dispose de 05 AEV dont 04 fonctionnelles et 01 en panne (Sonsoro). Les données collectées sur les conditions d'implantation et d'exploitation de ces BF/AEV montrent qu'à Angaradébou, il y a eu des problèmes de casse de tuyau pendant la saison sèche. Les réparations ont été effectuées par le fermier et auraient eu, en conséquence, une incidence sur le paiement des redevances.

A Sonsoro et Sam, c'est plutôt le chargement du m^3 nécessaire dans le château qui pose problème. Le débit étant faible, les fermiers utiliseraient plus de carburant que prévu pour faire remonter le volume d'eau nécessaire dans le château. Ceci explique, en partie, le paiement irrégulier des redevances par ces derniers.

Du côté du Service Eau de l'Alibori qui a assuré la maîtrise d'ouvrage, ces informations fournies par la Commune et les fermiers, sont justes mais, ne justifient aucunement un relâchement dans le suivi de l'implantation des AEV. Le réseau d'adduction d'eau de la SONEB constitue en partie une source d'approvisionnement en eau des populations urbaines.

3.2.1.2- Réseau d'adduction d'eau de la SONEB

Selon les entretiens avec le Chef d'Agence de la structure, le réseau de distribution d'eau de la ville de Kandi a été mis en service en 1980 avec au départ 05 forages (f1 à f5) sur financement Danois. Les débits des forages sont : (F1: 8 m^3/h, F2: 8 m^3/h, F3: 8 m^3/h, F4: 10 m^3/h, F5:10 m^3/h). Les forages atteignent 75 m de profondeur en moyenne. Le forage F2 n'était pas exploité depuis septembre 1999 en raison de l'absence de pompe immergée. En conséquence, les eaux mobilisées à travers les quatre forages fonctionnels (36 m^3/h) ne suffisent pas à couvrir les besoins en eau de la ville pendant la saison sèche. Pour pallier cette insuffisance, quatre nouveaux forages ont été réalisés pour renforcer la capacité de production du réseau en 2008. Le traitement actuel de l'eau repose uniquement sur la désinfection au chlore. Actuellement, la SONEB dispose de 09 forages situés à Kandifô avec un débit théorique de 88 m^3/h et 01 château d'eau d'une capacité de 500 m^3. Le réseau d'adduction d'eau est de 62 940,34 m linéaires sans les zones périphériques et les nouveaux quartiers en création. Le taux de desserte actuel est de 55 %. Quatre kiosques à eau sont installés à Damadi, une zone périphérique de la ville réalisés par le Comité de Développement de Damadi (CDD) pour renforcer le dispositif de la SONEB. Le dispositif de production et de distribution d'eau potable est représenté dans la photo 2.





(c) **(d)**

Photo 2 : Dispositif de production et de traitement d'eau brute de la SONEB à Kandifô (Prise de vue Assouma, mars 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**c**) : Cette photo 2(c) présente trois petits réservoirs de stockage de l'eau traitée reliés les uns aux autres avant d'entrée dans le circuit de distribution.

(**d**) : Cette photo 2(d) montre une salle comportant le dispositif de traitement de l'eau.

3.2.1.3- Puits Traditionnels (PT)

Ce sont des ouvrages d'alimentation en eau de grand diamètre (généralement de 1 à 1,2 m) permettant d'accéder à un aquifère ainsi qu'un puisage direct de l'eau (avec une corde et une puisette) sans avoir recours à une pompe (Clégbaza, 2000). Selon la DG Eau (2010), les puits traditionnels ont rarement un cuvelage en béton armé (buses) ou en maçonnerie et pratiquement jamais de captage avec buses perforées ; de plus la hauteur de captage est très souvent faible et les risques d'éboulement et de tarissement saisonnier sont importants. Ces ouvrages sont de factures diverses : parois nues, maçonneries, briques. Les puits traditionnels sont réalisés entièrement à la main par les puisatiers locaux de la commune disposant de matériels rudimentaires et très restreints (Assouma, 2003). En dehors de ces types d'ouvrages d'eau souterraine, les communautés exploitent aussi les eaux de surface.

3.2.1.4- Eaux de surface

Selon les informations obtenues au niveau du CeRPA / Borgou - Alibori, pour compenser le déficit en eau observé en saison sèche dans certaines régions qui sont aussi les régions de forte tradition d'élevage, les retenues d'eau sous forme de surcreusements de marre et des barrages simples ont été construites par plusieurs structures telles que PADEB et PADDPA.

L’objectif principal de la création de ces retenues d’eau était d’assurer aux populations et aux bétails un approvisionnement en eau. C’est avec le temps que les populations ont constaté la présence des poissons dans ces retenues d’eau puis elles ont commencé à faire la pêche et le maraîchage autour de ces sources d’eau. D’après le CeRPA / Borgou - Alibori (2009), 215 retenues d’eau ont été construites dans le Nord dont 16 dans la Commune de Kandi. Mais force est de constater que la majorité de ces retenues d’eau par manque de suivi ne sont pas fonctionnelles et sont comblées. La plupart de ces retenues d’eau sont gérées par des comités de gestion composés en collaboration avec le CARDER de la Commune. Leur répartition géographique dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 21.

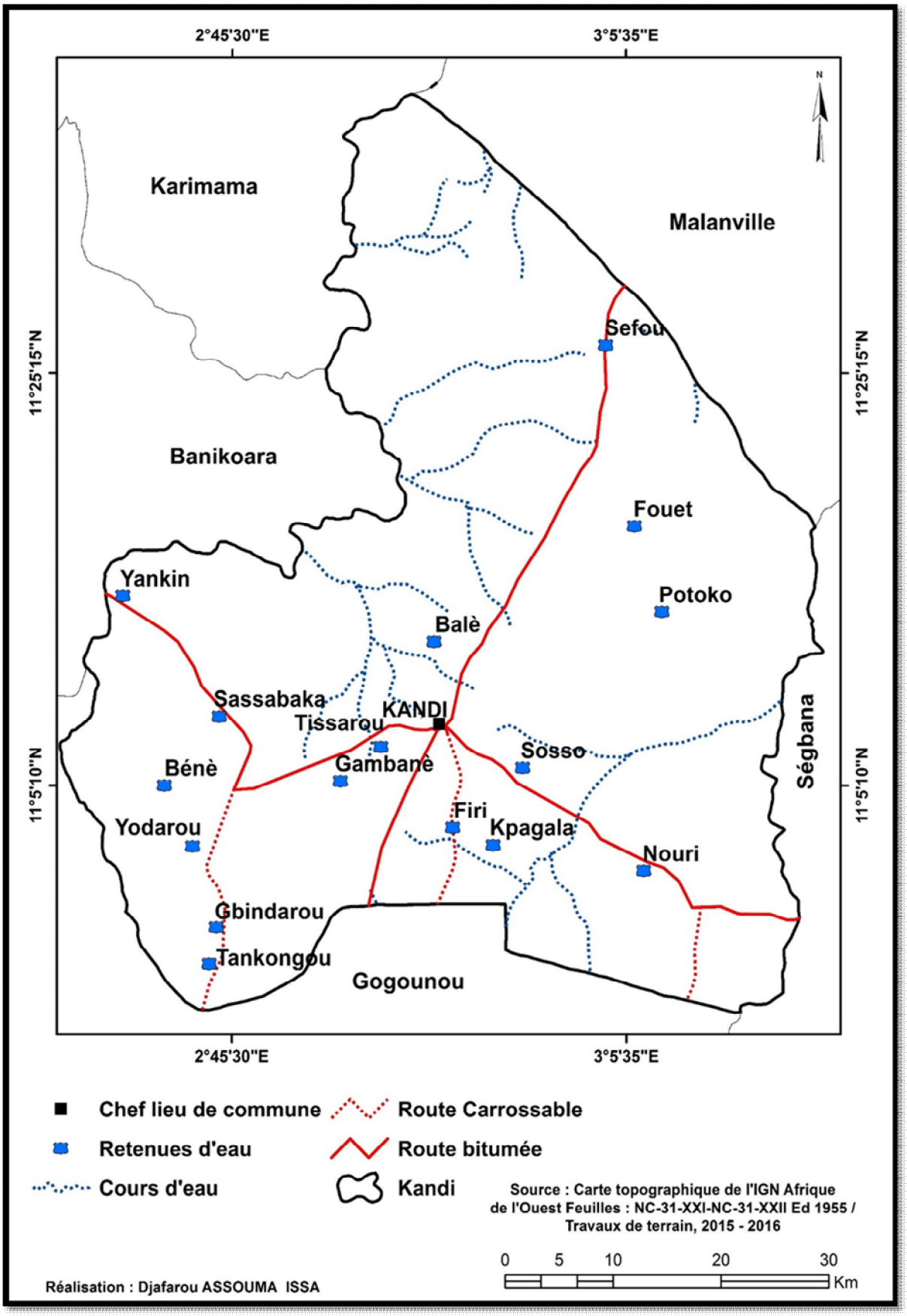

Figure 21 : Distribution spatiale des retenues d'eau dans la Commune de Kandi.

Source : CARDER Kandi / CeRPA Borgou-Alibori / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 21 présente la répartition spatiale des retenues d'eau dans la Commune de Kandi. L'analyse de cette figure 21 montre que les retenues d'eau sont plus concentrées au sud de la Commune. Le nord est quasiment dépourvu de retenues d'eau. D'après les travaux de terrain, environ 80 % des acteurs rencontrés sur le terrain tirent profit de ces sources. Ainsi, ces sources permettent d'accroître leurs revenus. Par ailleurs, les enquêtes de terrain réalisées montrent les différentes sources d'approvisionnement en eau utilisées par les acteurs (tableau XIV).

Tableau XIV : Sources d'approvisionnement en eau utilisées par les acteurs

Acteurs	**Quelles sont les sources d'approvisionnement en eau que vous utilisez dans votre ménage ?**							**Total**
	Retenue d'eau et mares	*PT*	*PM*	*FCP*	*FPM*	*AEV/BF*	*Réseau SONEB*	
Ménages	22	21	63	3	79	21	24	233
Eleveurs	73	4	18	0	5	0	0	100
Agriculteurs	52	3	19	0	21	5	0	100
Pêcheurs	100	0	0	0	0	0	0	100
Total	**247**	**28**	**100**	**3**	**105**	**26**	**24**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi ; 2015-2016

Le tableau XIV montre que les Retenue d'eau et mares, les Puits Modernes à grand diamètre (PM) et les forages (FPM) constituent les ouvrages d'eau les plus exploités par les acteurs locaux rencontrés pour leur approvisionnement en eau. Ces ouvrages représentent 84,81 %. En ce qui concerne les ménages enquêtés, ils utilisent plus les Puits Modernes à grand diamètre (PM : 27, 03 %) et les Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM : 33,90 %). Seulement 10,30 % des ménages utilisent le réseau d'adduction de la SONEB comme source d'alimentation en eau potable et ceci en milieu urbain. Quant aux éleveurs et agriculteurs, ces catégories d'acteurs utilisent le plus les retenues d'eau et les mares respectivement pour l'abreuvage des troupeaux d'animaux et les cultures maraîchères surtout. Par contre les pêcheurs n'utilisent que les retenues d'eau et mares pour leurs activités de pêche.

3.2.2- Couverture spatiale des infrastructures hydrauliques

La génération du polygone de Thiessen est un type d'analyse de proximité ou de voisinage qui a permis d'observer toutes les infrastructures hydrauliques proches de telle ou telle localité par rapport aux autres ouvrages hydrauliques.

Un polygone est construit autour de chaque type d'infrastructure hydraulique et comporte les localités proches de cette infrastructure. Cette technique a ainsi permis de délimiter la zone de couverture de chaque infrastructure par localité. Elle a enfin permis de noter les localités défaillantes non couvertes par les infrastructures hydrauliques. La figure 22 illustre le polygone de Thiessen construit autour des forages.

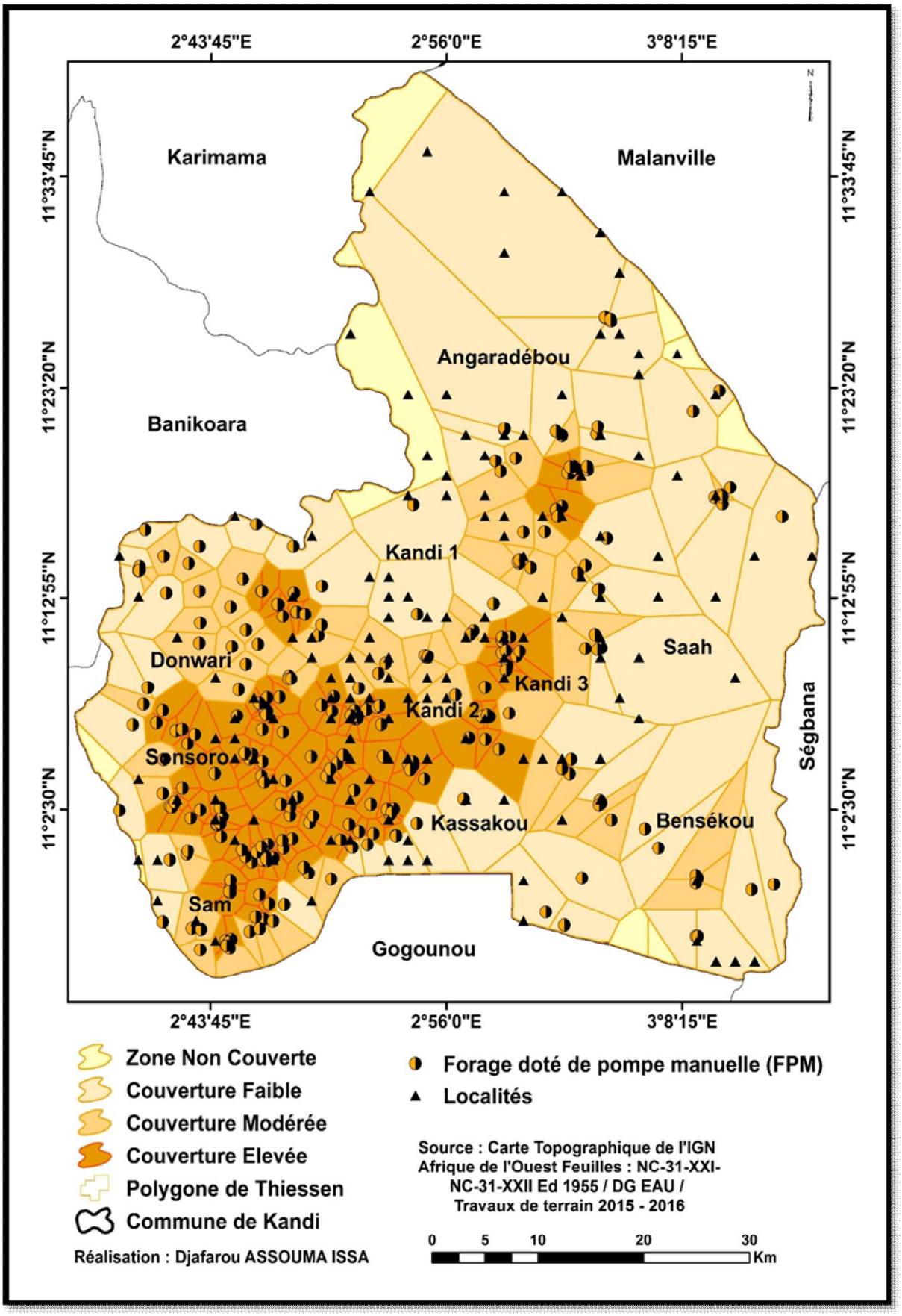

Figure 22 : Couverture spatiale des Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM) dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Elle met en exergue la couverture des forages (FPM) sur le territoire de la Commune de Kandi. L'analyse de cette figure 22 fait apparaitre que le sud-ouest et le centre de la Commune présentent une bonne couverture des forages (FPM). Par contre, le sud-est et le nord sont faiblement couverts. Le polygone de Thiessen est aussi également appliqué au niveau des Puits Modernes à grand diamètre (PM) (figures 23).

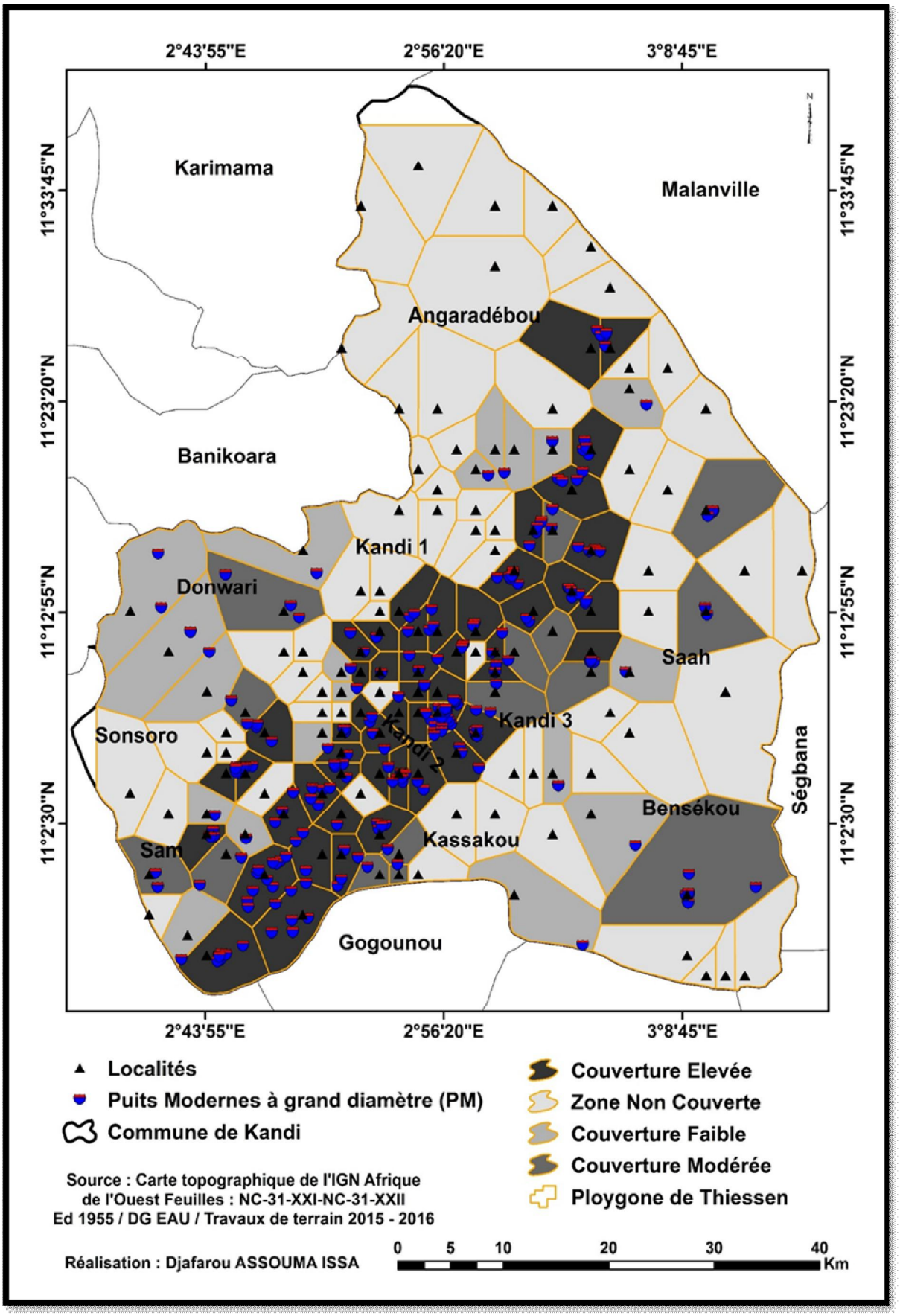

Figure 23 : Couverture spatiale des Puits Modernes à grand diamètre (PM) dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 23 présente la situation de la couverture des Puits Modernes à grand diamètre (PM) sur le territoire communal de Kandi. Elle montre que le sud-ouest, le centre et une partie du nord ont une forte concentration des PM. Le sud-est, une partie du sud-ouest et une bonne partie du nord sont faiblement couverts par les PM. Par endroit dans l'espace communal, on note une couverture moyenne des PM. Le polygone de Thiessen a également permis de déterminer la zone de couverture des Bornes Fontaines (BF) (figure 24).

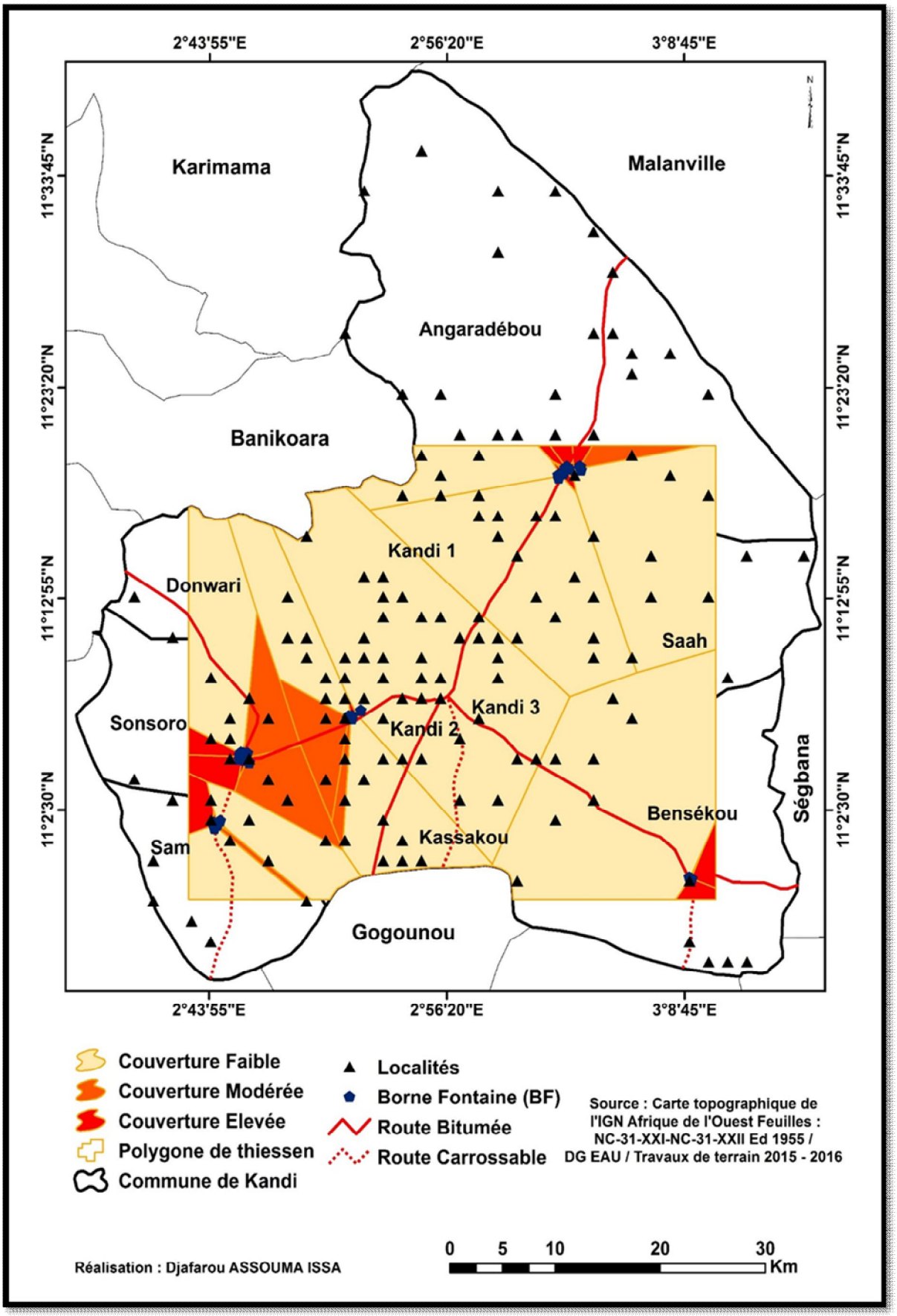

Figure 24 : Couverture spatiale des Bornes Fontaines (BF) dans la Commune de Kandi.

Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 24 présente la situation des Bornes Fontaines **(**BF) sur le territoire de la Commune. De l'observation de cette figure 24, il ressort que les Bornes Fontaines (BF) sont uniquement érigées au niveau des chefs-lieux des arrondissements d'Angaradébou, de Donwari, de Sonsoro et de Sam. Le reste des arrondissements est dépourvu de ces ouvrages. Les chefs-lieux de ces arrondissements y compris les villages et hameaux proches seront desservis par ces infrastructures.

3.2.3- Analyse spatiale des infrastructures hydrauliques

Pour apprécier l'accessibilité physique des sources d'eau aux populations une analyse de proximité a été faite. Ensuite, une requête " *Select by location*" d'Arc Map 10.3 a été appliquée pour extraire les infrastructures hydrauliques contenues dans les polygones à 100 m, 500 m et 1 Km des habitations.

3.2.3.1- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 100 m des habitations

Pour déterminer l'accessibilité des sources d'approvisionnement en eau aux communautés, les couches des ouvrages d'eau et celles des localités ont été superposées. Par la suite, le polygone de Thiessen a été réalisé autour de chaque infrastructure hydraulique. Ainsi, une requête a été formulée : '' *Sélectionner les ouvrages hydrauliques situés à 100 m des localités*.'' Cette requête a permis d'extraire les ouvrages d'eau concernés. La distribution spatiale de ces ouvrages hydrauliques est représentée dans la figure 25.

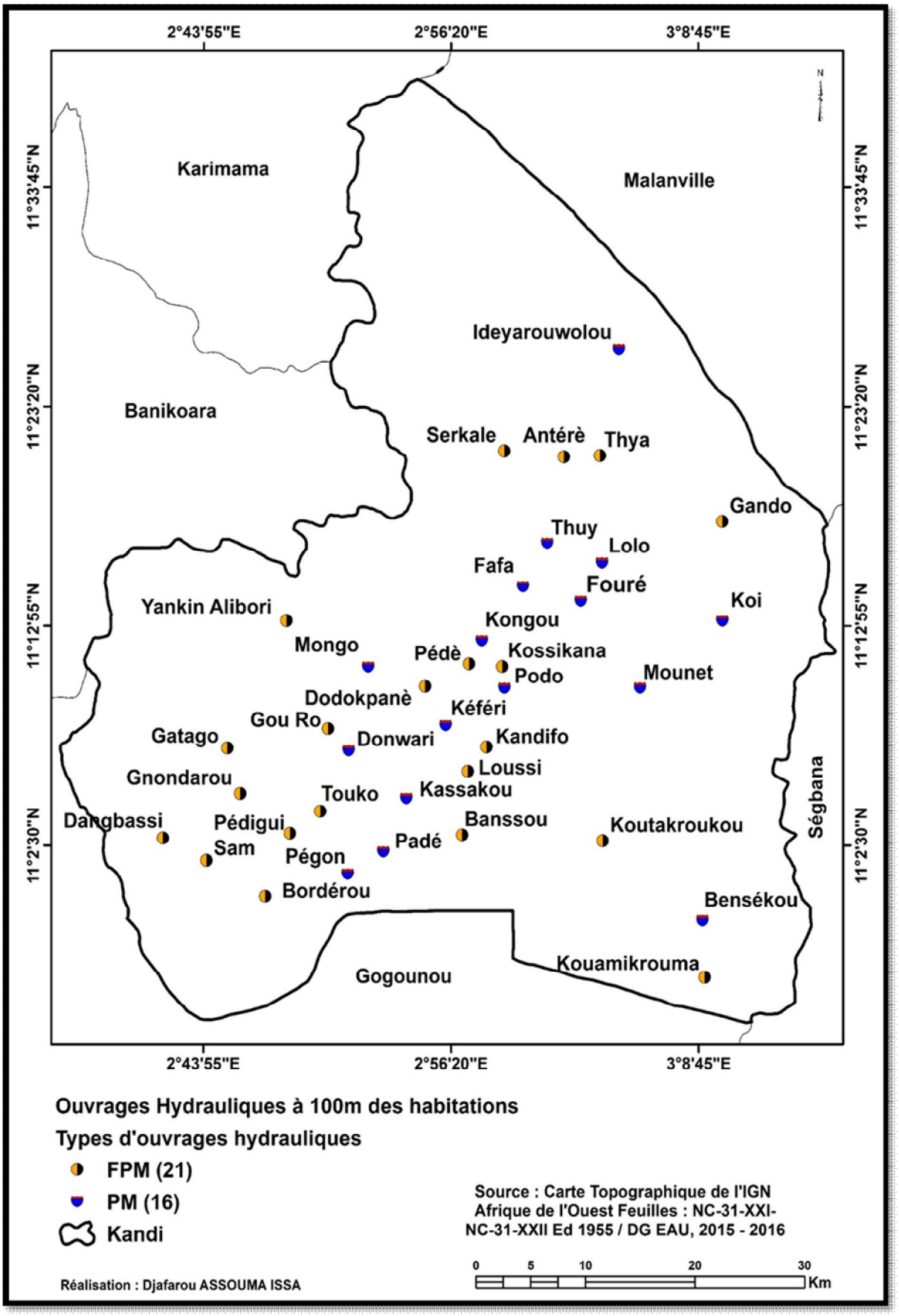

Figure 25 : Accès des ménages à 100 m des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

L’analyse de cette figure 25 montre que 37 infrastructures hydrauliques (soit 8,64 % de l’ensemble des infrastructures hydrauliques fonctionnelles) dont 21 forages (FPM) et 16 Puits Modernes à grands diamètre (PM) sont accessibles aux ménages à 100 m des habitations. Par ailleurs, la distribution spatiale de ces ouvrages montre qu’ils sont plus concentrés au centre et au sud-ouest de la Commune. Ce qui se justifie par une forte démographie observée dans ces zones. A priori, ces ménages ne devraient pas souffrir de pénurie d’eau. Si tel est le cas, cela signifie que les Puits Modernes à grand diamètre (PM) tarissent vite pendant la saison sèche et que le débit des forages est très faible en ces moments.

3.2.3.2- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 500 m des habitations

L’accessibilité des populations aux infrastructures hydrauliques à 500 m des localités a été obtenue suite à la formulation de cette requête : ‘’ *Sélectionner les ouvrages hydrauliques situés à 500 m des localités.*’’ Les résultats de cette requête sont présentés dans la figure 26.

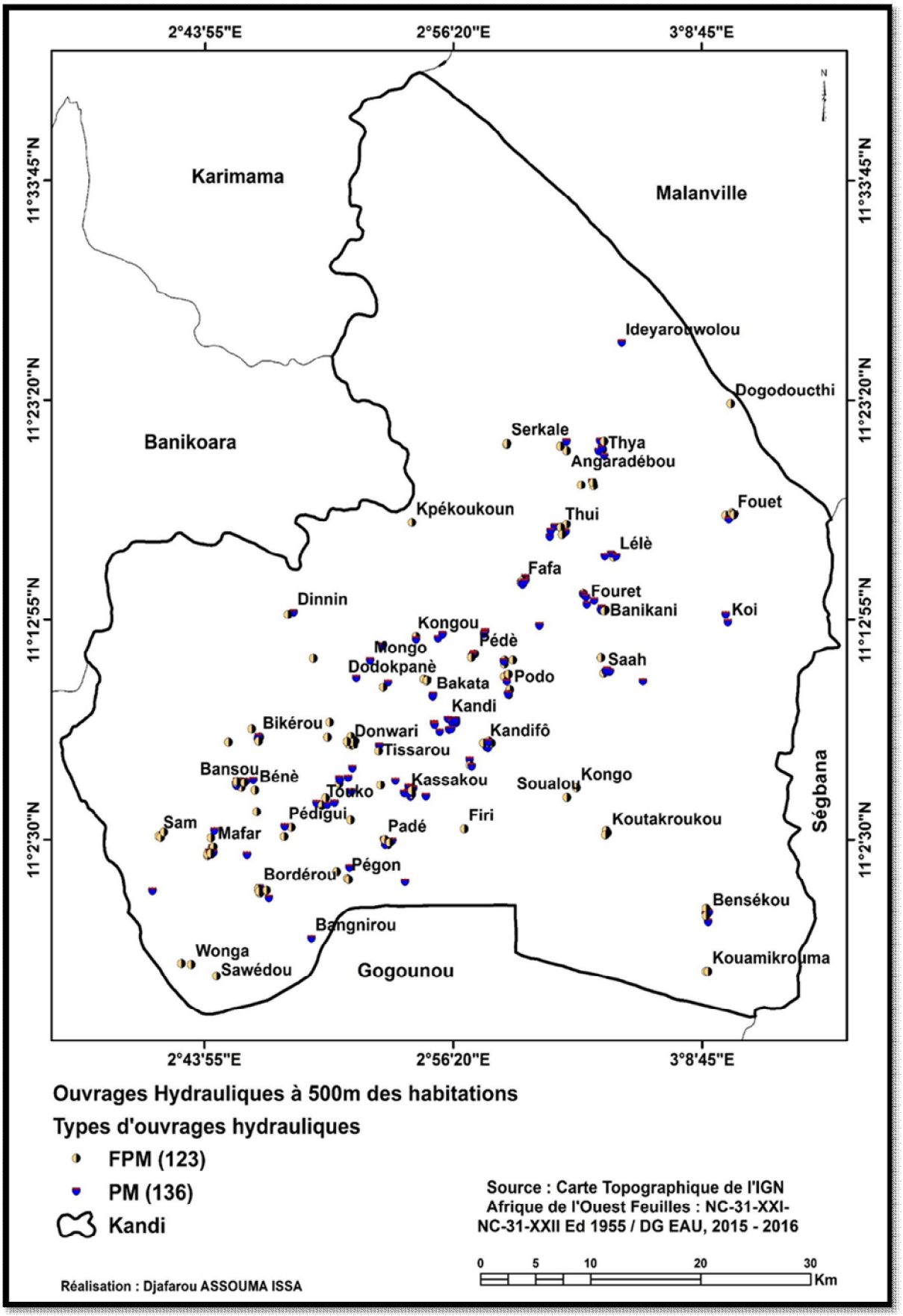

Figure 26 : Accès des ménages à 500 m des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 26 présente la situation géographique des ouvrages hydrauliques à 500 m des habitations. Elle traduit que les usagers parcourent 500 m pour atteindre l'ouvrage hydraulique proche de leur zone de résidence. L'analyse de cette figure 26 permet de noter que 259 infrastructures hydrauliques (60,51 % de l'effectif total) dont 123 forages (FPM) et 136 Puits Modernes à grand diamètre (PM) sont situées à 500 m des habitations. Par ailleurs, les ouvrages hydrauliques sont plus concentrés au centre de la Commune (raison démographique). Par contre le nord et le sud-est sont pratiquement dépourvus à cause de la présence des forêts classées et la zone cynégétique de la Djona dans ces zones.

3.2.3.3- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 1Km des habitations

Il s'agit de formuler cette requête : '' *Sélectionner les ouvrages hydrauliques situés à 1Km des ménages.*'' Le résultat a permis d'extraire les ouvrages d'eau concernés. La répartition spatiale dans l'espace communal de ces sources d'approvisionnement en eau est représentée dans la figure 27.

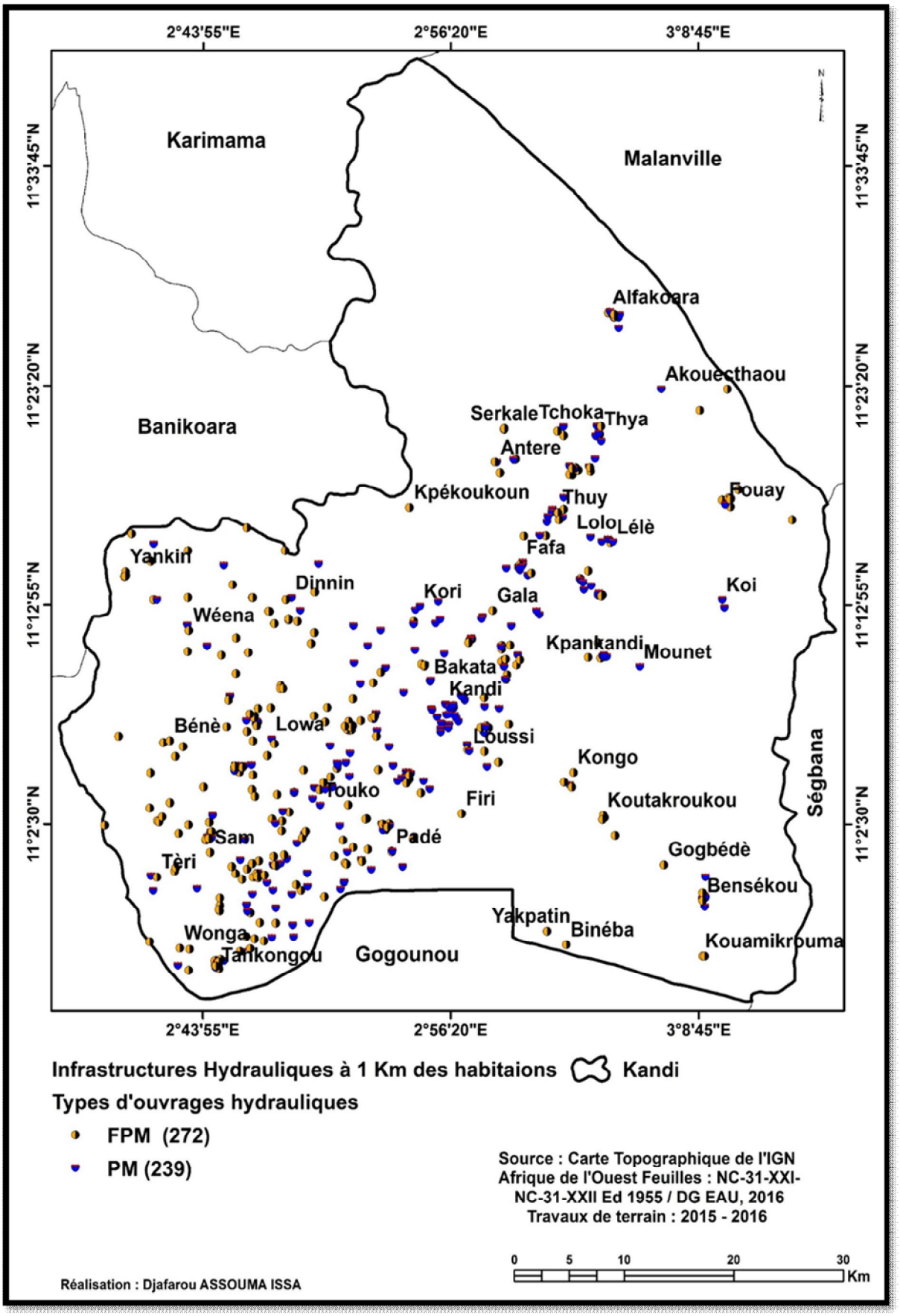

Figure 27 : Accès des ménages à 1 Km des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016

Cette figure 27 met en exergue les ouvrages hydrauliques situés à 1 Km des ménages. 410 ouvrages hydrauliques (95,79 % du total) composés de 201 forages (FPM) et 209 Puits Modernes à grand (PM) sont situés à 1 Km des ménages. L'observation de cette figure montre que les infrastructures hydrauliques sont plus concentrées au sud-est et au centre de la Commune (raison démographique). Pratiquement, le nord et le sud-est sont moins pourvus à cause de la présence des zones protégées évoquées précédemment dans ces zones. Il faut noter qu'au cours du trajet, la qualité de l'eau peut être dégradée.

3.2.4- Etats des lieux des sources d'approvisionnement en eau

Ils concernent les infrastructures hydrauliques, le taux de panne et de desserte en eau des populations.

3.2.4.1- Infrastructures hydrauliques de la Direction Générale de l'Eau (DG Eau)

Selon le Service Eau de l'Alibori, la Commune de Kandi dispose de 427 ouvrages d'eau fonctionnels dont 251 Forages équipés de Pompe à Motricité humaine (FPM), 134 Puits Modernes à grand diamètre (PM), 03 Forages Contre Puits (FCP) et 39 Bornes Fontaines (BF) reliées à 5 AEV. La figure 28 présente l'état des lieux des ouvrages d'eau réalisé par le Service Eau à Kandi.

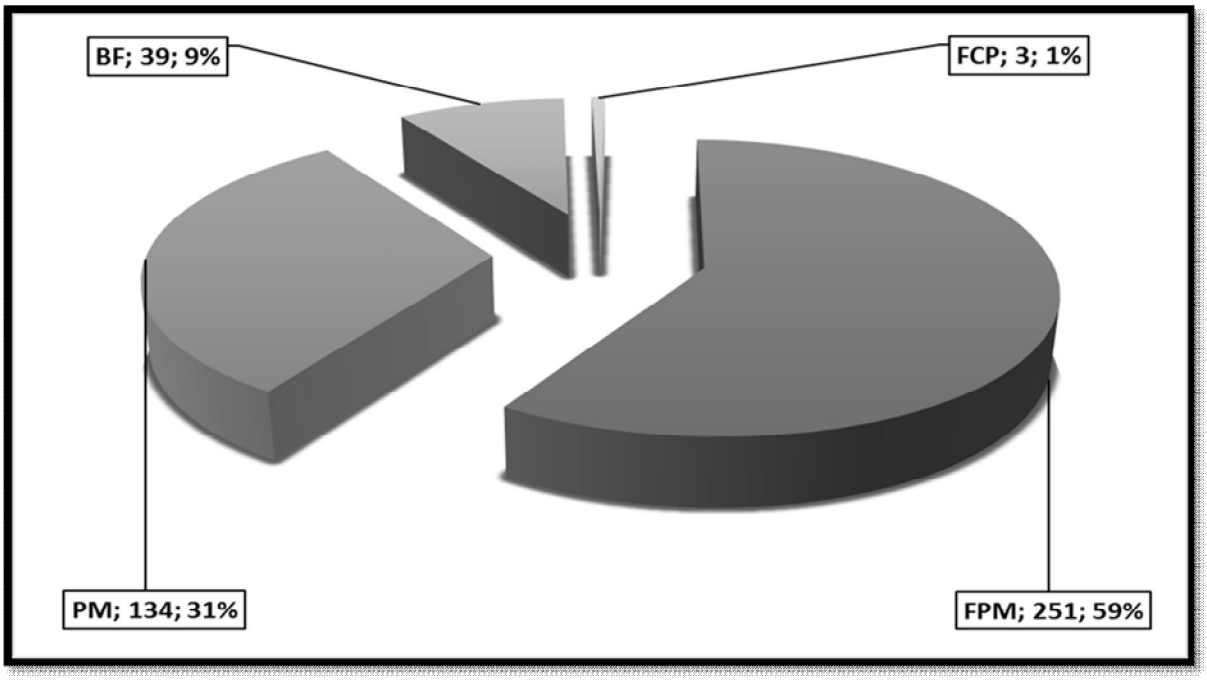

Figure 28 : Proportions des types d'ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi.

Source : Service de l'Hydraulique Kandi, 2016

L’analyse de la figure 28 montre que 59 % des infrastructures hydrauliques disponibles sont constituées de Forages équipés de Pompe à Motricité humaine (FPM), 31 % sont des Puits Modernes à grand diamètre (PM), 9 % des Bornes Fontaines (BF) et 1 % de Forages Contre Puits (FCP). Seul l’arrondissement de Sonsoro dispose de Forages Contre Puits (FCP). Au regard de cette situation, les autorités étatiques et locales ont opté plus pour la réalisation des forages (FPM) que des PM et autres ouvrages hydrauliques. Les raisons souvent évoquées sont relatives à la préservation de la qualité de l’eau, aux conditions d’éthiques et aux considérations sociologiques. Les BF et les FCP sont nettement insuffisants. Outre ces infrastructures hydrauliques réalisées par la DG Eau, les populations disposent des Puits Traditionnels (PT), des retenues d’eau, des mares et des rivières pour leurs approvisionnements en eau. Le constat fait sur le terrain montre que les conditions d’hygiène et d’assainissement autour de la plupart de ces ouvrages hydrauliques sont moins reluisantes et interpellent la conscience des membres du comité de gestion, des usagers des points d’eau et des autorités locales. Cependant, certaines de ces infrastructures hydrauliques sont en pannes, abandonnées faute de réparation, hors d’usage ou non fonctionnelles.

3.2.4.2- Taux de panne des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi

La gestion des ouvrages hydrauliques a toujours été une préoccupation des autorités communales et du Service Régional de l’Hydraulique. Une chose est de mettre en place les ouvrages hydrauliques, d'assurer la disponibilité ou l'accessibilité à la ressource en eau pour le bien-être des communautés pour leurs différents usages, mais une autre est d'en assurer une gestion efficience et collégiale en préservant l'état de l’environnement de ces ouvrages d’eau. Les travaux de terrain ont montré que la plupart des ouvrages sombrent dans une insalubrité. Les règles élémentaires d'hygiène et d'assainissement de base ne sont pas respectées autour de ces points d'eau. Certains comités de gestion installés pour veiller à l’entretien des alentours des ouvrages ne fonctionnent pas. Cette situation s’explique par la mauvaise gestion de ces ouvrages avec pour corollaire la difficulté à s’approvisionner en pièce de rechange. La figure 29 présente la situation des ouvrages en panne par arrondissement (PM non inclus) dans la Commune de Kandi.

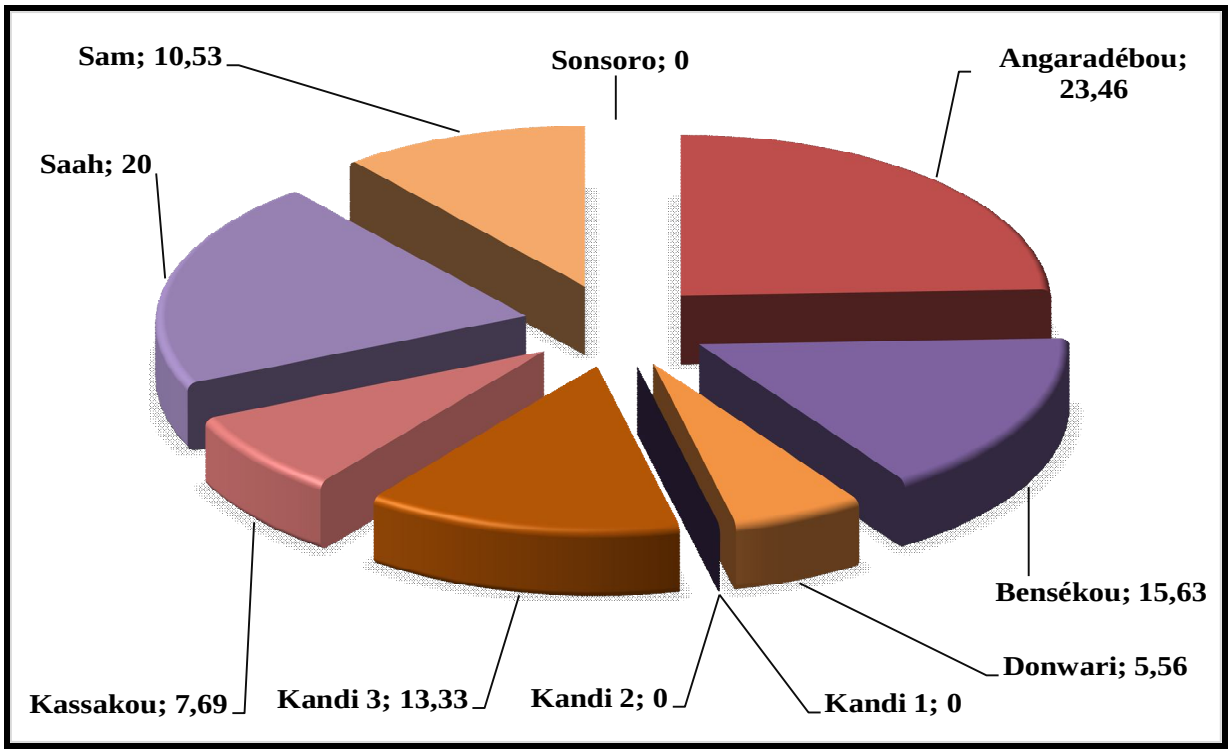

Figure 29 : Proportions (%) des ouvrages hydrauliques en panne (PM non inclus) dans la Commune de Kandi. **Source** : Service Eau, Kandi, 2016

L'analyse de cette figure 29 montre que les arrondissements d'Angaradébou, (23,46 %), de Saah (20 %) et de Bensékou (15,63 %) présentent les taux de panne les plus élevés. Cette situation peut être due au manque de maintenance de ces infrastructures hydrauliques, à la mauvaise utilisation des ouvrages d'eau, et à la surexploitation. Cet état de chose entraîne une incidence directe sur le taux de desserte.

3.2.4.3- Taux de desserte en eau par arrondissement dans la Commune de Kandi

Selon les données recueillies au Service Eau, le taux moyen de desserte en eau potable au niveau communal est de 86,7 %. Sur cette base, on peut s'accorder à dire que des efforts très remarquables ont été faits dans le secteur de l'eau même si 13,3 % de la population reste non desservi. En réalité, ce taux moyen de desserte communal est si élevé, sans doute, parce que le taux de desserte en milieu urbain y est incorporé. Si on désagrège ce taux de desserte communal en taux de desserte urbain et rural, on constatera sûrement qu'en milieu rural où existe l'effectivité même de la compétence communale dans ce sous-secteur, toutes les communautés n'ont accès durablement à l'eau potable. La figure 30 présente le taux de desserte en eau par arrondissement dans la Commune de Kandi.

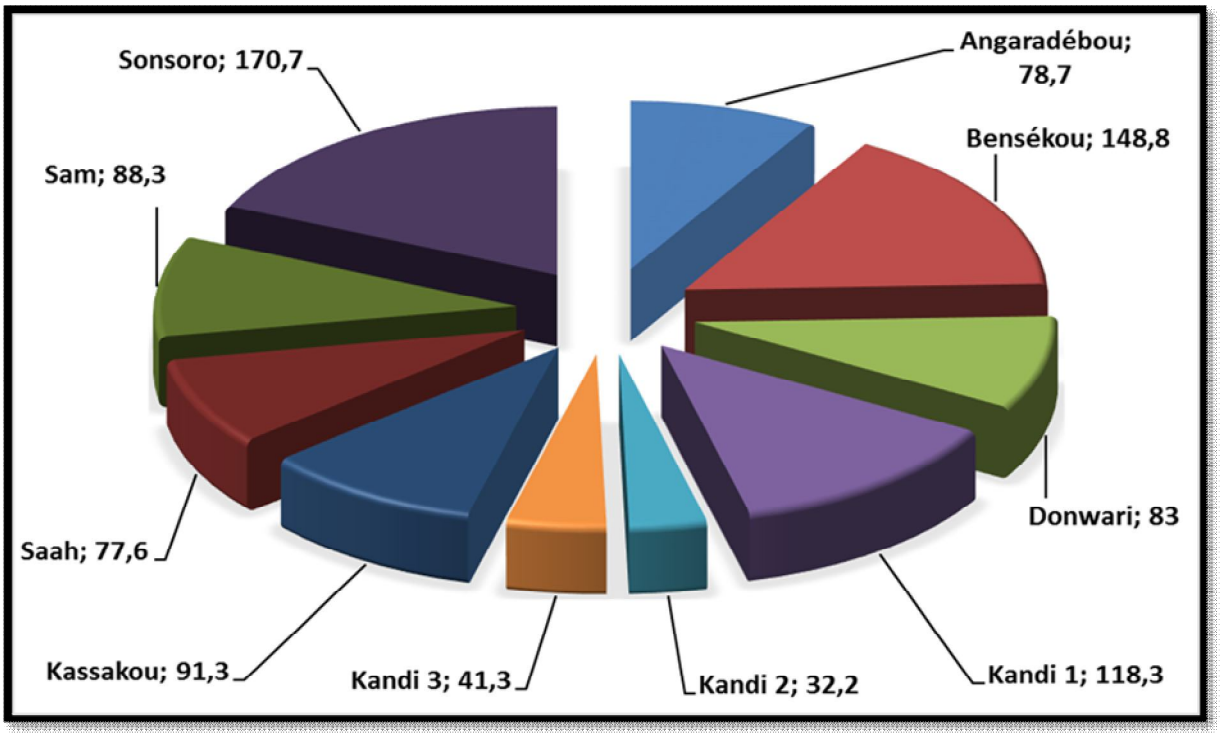

Figure 30 : Taux (%) de desserte en eau potable par arrondissement dans la Commune de Kandi. **Source** : Service de l'Hydraulique Kandi, 2016

L'analyse de cette figure 30 montre que le taux de desserte en eau potable est inégalement réparti aussi bien entre les arrondissements que les localités d'un même arrondissement. Il se présente comme suit : Angaradébou (78,7 %) pour une population desservie de 19 685 habitants, Bensékou (148,8 %) pour une population desservie de 4 536 habitants, Donwari (82 %) pour une population desservie de 15 361 habitants, Kandi 1 (118,3 %) pour une population desservie de 8 028 habitants, Kandi 2 (32,2 %) pour une population desservie de 11 119 habitants, Kandi 3 (41,3 %) pour une population desservie de 7 869 habitants, Kassakou (91,3 %) pour une population desservie de 9 856 habitants, Saah (77,6 %) pour une population desservie de 6 447 habitants, Sam (88,3 %) pour une population desservie de 14 437 habitants et Sonsoro (170,7 %) pour une population desservie de 11 425 habitants. Considérant le nouveau mode de calcul du taux de desserte en eau potable adoptée par la Direction Générale de l'Eau (DG Eau), il ressort que les arrondissements de Sonsoro, de Bensékou, de Kandi 1, et de Kassakou sont les plus desservis en eau potable.

3.2.5- Analyse des modes de gestion des sources d'approvisionnement en eau

Plusieurs acteurs (acteurs communaux, déconcentrés et privés de proximité) interagissent pour un service public permanent et extensif dans le secteur de l'eau. Ces parties prenantes à la

gouvernance dans ce secteur se positionnent par rapport aux compétences communales soit, en tant qu'acteurs d'appui soit, en tant que prestataires de services. Avant de passer à l'analyse des modes de gestion des sources d'approvisionnement en eau des communautés, il importe d'exposer les généralités sur les modes de gestion de ces ouvrages.

3.2.5.1- Généralité sur les modes de gestion des ouvrages hydrauliques

La gestion consiste à veiller de manière rationnelle aux opérations qui conservent le potentiel du matériel. Pour ce faire, il faut entretenir les ouvrages et équipements, pérenniser la production pour être dans une marge de dépense raisonnable. Il existe différents types de gestion des systèmes d'AEV :

- La gestion directe
- Les marchés publics
- La délégation

3.2.5.1.1- Gestion directe

La gestion directe des infrastructures hydrauliques peut prendre deux formes : la gestion communautaire et la gestion par les élus locaux au niveau des Communes.

Gestion communautaire

Dans cette forme de gestion, des volontaires, généralement non rémunérés, consacrent une partie de leurs temps à la gestion du service de l'eau. Les volontaires rendent directement compte à la communauté au cours d'une assemblée générale dirigée par le bureau de l'association des usagers.

Régie

On parle de régie quand la Commune ou l'Etat assure lui-même l'exploitation du service d'adduction d'eau à travers son personnel propre. Elle est fonction des dimensions du système, des sommes générées et du niveau de professionnalisme exigé. La régie peut prendre plusieurs formes (tableau XV).

Tableau XV : Formes de régie

Appellation	Nature de l'opération	Responsabilités et risque
Gestion communautaire	Volontaires communautaires	Budget contrôlé par une assemblée de la communauté
Régie simple	Opérateur public, intégré dans les services de la Commune	Budget intégré au budget général, aucune autonomie de gestion
Régie autonome (dotée de l'autonomie financière)	Opérateur public, administrativement distinct de la Commune	Budget annexe ou budget général, autonomie de gestion limitée
Régie dotée de l'autonomie financière et de la personnalité morale	Opérateur public, administrativement distinct de la Commune	Autonomie financière totale dans un établissement à caractère industriel et commercial

Source : Travaux de terrain, 2016

3.2.5.1.2- Marchés publics

Ce sont des contrats de mise à disposition des moyens ou de savoir-faire dans lesquels l'opérateur prend peu de risque dans la gestion du service et est rémunéré forfaitairement par l'autorité contractante (tableau XVI).

Tableau XVI : Types de marchés publics

Appellation	Nature de l'operateur	Responsabilités et risques
Prestation de service	Entreprise privée	Gestion partielle, rémunération forfaitaire payée par la collectivité.
La gérance	Entreprise privée	Gestion partielle ou complète du service rémunération forfaitaire payée par la collectivité.
La régie intéressée	Entreprise privée	Gestion partielle ou complète du service rémunération forfaitaire payée par la collectivité, avec un intéressement limité aux résultats.

Source : Travaux de terrain, 2016

3.2.5.1.3- Délégation

Dans ce type de gestion, l'Etat ou la collectivité confie entièrement la fourniture du service à une personne morale (fermier) qui apporte une partie des moyens et gère le système à ses risques et périls. L'exploitant du service d'eau est habilité à percevoir directement les redevances correspondantes auprès des usagers. La collectivité conserve toutefois la responsabilité de contrôle des conditions d'exécution des contrats par le délégataire. La gestion déléguée peut prendre plusieurs formes (tableau XVII) :

Tableau XVII : Gestion déléguée

Appellation	Nature de l'operateur	Responsabilités et risques
Concession et l'affermage	Entreprise privée	Gestion globale du service, financement éventuel des investissements (clauses concessives) rémunération directe par les usagers

Source : Travaux de terrain, 2016

3.2.5.2- Acteurs communaux (Elus locaux)

Les capacités techniques des élus locaux et des services techniques de la Mairie en matière de gouvernance dans le sous-secteur eau sont relativement limitées. Le Comité Communal Eau (CC Eau) ne fonctionne pas régulièrement. Ce comité ne se réunit qu'en cas de force majeure, ce qui ne permet pas de suivre le déroulement des activités par les services municipaux impliqués dans la gestion du secteur. La Commune ne dispose pas d'une Banque de Données Intégrées (BDI) sur la gestion du sous-secteur. Par ailleurs, les capacités de la Commune en matière de gestion et suivi des contrats avec les délégataires et fermiers sont très fragiles. Il n'existe pas une base de données actualisée des délégataires et beaucoup d'ouvrages simples sont gérés par des acteurs dont la Commune ne dispose de données fiables sur leurs identités. Du point de vue organisationnel, les différents services de la Mairie ne travaillent pas en bonne synergie. La Commune ne dispose pas d'un Plan Sectoriel Eau (PS Eau) déclinant clairement sa vision territorialisée pour le secteur.

3.2.5.3- Acteurs privés AEP (fermiers, délégataires, Artisans réparateurs)

Les capacités techniques des fermiers sont relativement insuffisantes. Ces derniers ne disposent pas souvent des outils de gestion, excepté celui de Bensékou. Pour ce qui est des délégataires, la situation n'est guère meilleure. La stratégie sectorielle préconise la prise en charge des réparations de surface par ces derniers ; la Commune prenant en compte les grosses réparations de profondeur. Les Artisans Réparateurs (AR) ont été formés seulement une fois dans le cadre du Projet d'Assistance au Développement du secteur Eau et Assainissement en milieu Rural (PADEAR) mis en œuvre par la GIZ / KfW. Depuis, ils n'ont plus reçu d'autres formations. C'est actuellement que la Commune organise le dépouillement des dossiers de contractualisation afin de recruter un artisan réparateur qui sera responsabilisé pour diriger l'équipe d'AR formés par le Service Eau. La Commune ne dispose pas de stock communal de pièces détachées. Les délégataires recourent aux AR de façon informelle pour réparer les pannes survenues sur les ouvrages hydrauliques. Les travaux de terrain effectués

montrent que certains ouvrages simples gérés par des délégataires n'ont presque pas reçu la visite récente d'agents municipaux ou d'animateurs ImS pour contrôler les pratiques d'hygiène autour des ouvrages par les délégataires. En conséquence, les alentours des ouvrages d'eau sont mal entretenus et les délégataires ne sont pas présents en permanence pour assurer le service public de l'eau.

3.2.5.4- Acteurs déconcentrés

Les capacités techniques du Service Eau de l'Alibori peuvent être évaluées à deux niveaux :

Volet ImS : le transfert effectif des activités d'ImS a été fait par le Service Eau à la Commune depuis 2010. Ne disposant pas de ressources humaines internes qualifiées pour exécuter convenablement ces activités, la Commune délègue cette compétence à des opérateurs techniques tels qu'APEM ONG et CAPID ONG.

Volet Maîtrise d'Ouvrage : le transfert de ce volet n'est pas encore réalisé par le Service Eau. Les études techniques et le pilotage de la construction des ouvrages hydrauliques sont réalisées par le Service Eau sur la base d'une concertation avec la Commune en ce qui concerne le choix de la localité et du site d'implantation de l'ouvrage, la programmation de la réalisation de l'ouvrage, etc. Par ailleurs, des entretiens avec les acteurs communaux, il ressort que les AEV de Sonsoro, Sam et Angaradébou sont construits avec des défauts ayant entraîné, selon le cas, une casse de tuyau en saison sèche (Angaradébou) ; la faiblesse du débit de l'eau entraînant un chargement incomplet du château (Sonsoro et Sam). Pour le Service Eau, la collaboration avec la Commune s'opère seulement en matière d'élaboration des Budgets Programmes par Objectifs (BPO) et de la Programmation Communale Eau (PC-Eau). Après transfert du volet ImS, la Commune ne recourt plus à son assistance/conseils tel que la lui garantit la loi. La gestion de la contractualisation avec les fermiers et délégataires et le suivi des ouvrages sont faits sans impliquer activement le Service Eau. A titre illustratif, quelques techniciens communaux (D/ST, Service Eau, SDLP) ont été renforcés par le Service Eau pour renseigner la Base de Données Intégrée (BDI). Mais, force est de constater que la BDI n'est pas du tout renseignée et les agents ne sollicitent pas non plus le Service Eau sur la résolution des problèmes à la base de ce dysfonctionnement.

3.2.5.5- Services publics de l'eau à partir des BF/AEV et des forages (FPM)

Au regard des 10 focus group organisés, 5 focus group sont peu satisfaits de la qualité du service de l'eau offert aux populations, 3 focus sont satisfaits de la qualité du service et 2 focus sont très satisfaits de la qualité des services.

Cette situation s'expliquent par :

- L'inacceptation de la vente d'eau : avec la gestion communautaire qui prévalait avant la décentralisation, l'eau n'était pas systématiquement vendue aux bonnes fontaines. Mais avec le transfert des compétences aux communes, la gestion communautaire est battue en brèche par la maîtrise d'ouvrage communale. Le principe de la vente systématique de l'eau est devenu la règle avec une gestion déléguée des ouvrages. Cette nouvelle loi sur la gestion de l'eau n'est pas encore partout acceptée des populations ;
- Le prix de l'eau à la fontaine : ce prix peut paraître trop cher par les populations ;
- L'irrégularité du service (fermeture fréquente pour panne ou indisponibilité du fermier). Les perceptions des acteurs sur la gestion des AEV et des FPM sont représentées dans la figure 31.

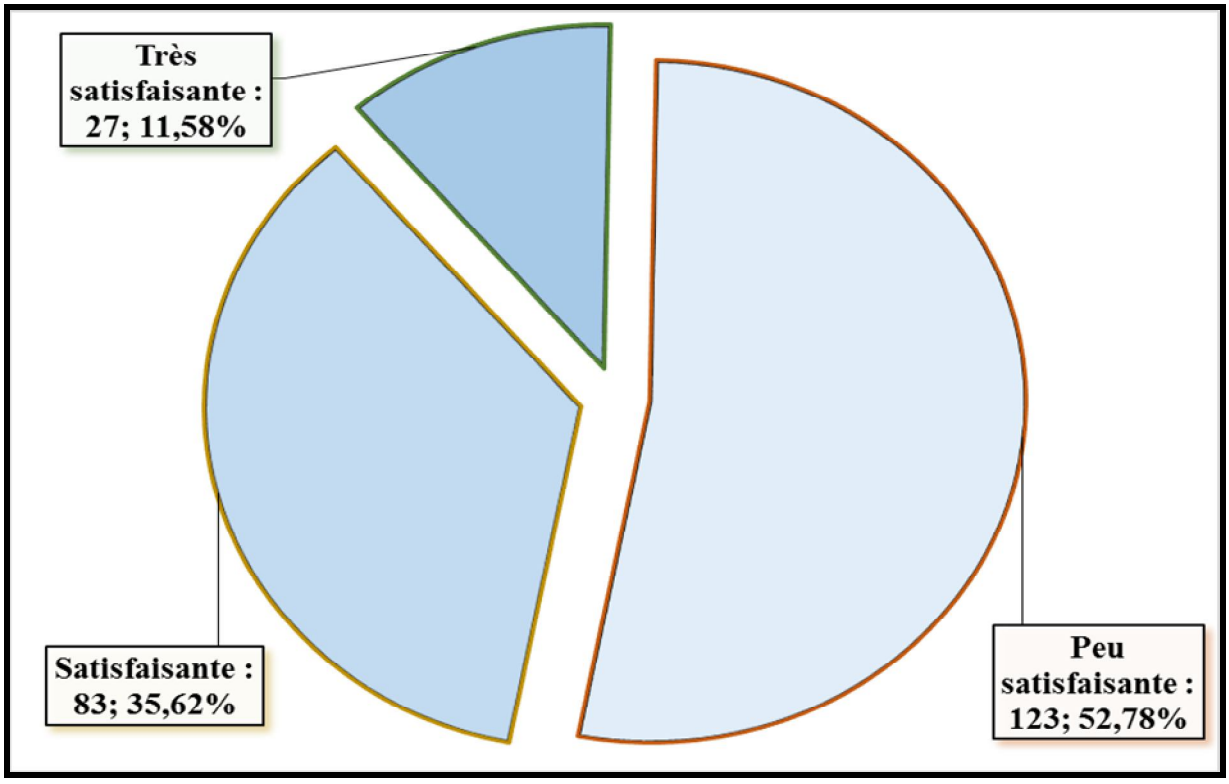

Figure 31 : Perception de la population sur la gestion des AEV et des forages publics dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

L'analyse de cette figure 31 montre que 52,78 % des ménages sont peu satisfaits de cette gestion. Il apparait de ces observations que le service public de l'eau à partir des AEV et des forages n'est pas à la grande satisfaction des usagers.

3.2.5.6- Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) du sous-secteur Eau

Les forces, faiblesses, opportunités et menaces émanent de la synthèse des focus group, des entretiens avec les personnes ressources et structures décentralisées réalisés sur le terrain. Ces FFOM sont inscrites dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII : Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces du secteur eau dans la Commune de Kandi

Environnement interne		***Environnement externe***	
Forces	**Faiblesses**	**Opportunités**	**Menaces**
Existence de la SONEB en zone urbaine	Faible collaboration SONEB / Commune sur certains aspects techniques de l'AEP en milieu urbain	-	-
Disponibilité d'ouvrages hydrauliques	Faible couverture en infrastructures et équipements Hydrauliques	Présence du Service Régional de l'eau	-
Existence des barrages et retenues d'eau	Exploitation abusive des barrages et retenues d'eau	-	Ensablement des cours et retenues d'eau. Risque de maladies liées à l'utilisation des mares et autres sources polluées
Existence de services communaux dédiés à la gestion du secteur AEP	-	Présence du Service Régional de l'eau. Présence du Service Régional d'Hygiène et de l'Assainissement de Base	-
Effectivité du transfert du volet ImS liés aux ouvrages simples	Les AR n'ont pas de caisses à outils. Les capacités de certains d'entre eux ont été renforcées depuis 2010 sans qu'ils aient eu l'opportunité d'intervenir sur les pompes de façon préventive ou curative.	Disponibilité et collaboration des ONG d'intermédiation sociale	-
Gestion déléguée effective des ouvrages simples et complexes par ces acteurs	Non maîtrise des rôles et responsabilités afférents à l'affermage et la délégation des ouvrages hydrauliques par certains fermiers et délégataires	-	-

Source : Travaux de terrain, 2015-2016

Le tableau XVIII évoque le problème de gouvernance dans le secteur de l'eau à savoir :
Le cadre collaboratif entre la Commune et la SONEB n'est pas bien fourni. Le rôle de leadership de la Commune n'est pas bien assumé en vue de tirer parti par exemple de l'expérience de la SONEB en matière de tarification des services publics en eau et le recouvrement des redevances impayées.
Le Comité Communal Eau (CCE) existe beaucoup plus par essence que par existence. Créé depuis 2010, il ne se réunit qu'en cas d'urgence. Ses assises se font rares alors que les défis du secteur sont énormes et pressants.
Les pratiques redditionnelles dans le secteur sont rarissimes. La Commune ne dispose pas d'un plan de communication en la matière. Les actions de communication et de reddition de compte se font occasionnellement et au gré des urgences. Les Elus ne font pas de la communication un outil de gestion. Les informations circulent beaucoup plus de bouche à oreille ce qui ne leur confère pas un caractère officiel.
La Cellule de Contrôle des Marchés Publics n'est pas activement impliquée dans le suivi de la gestion des AEV et les Ouvrages Simples (OS) par manque de motivation.
Le volet ImS relatif à la MOC (Maîtrise d'Ouvrage Communal) pour la réalisation des ouvrages simples est transféré à la Commune depuis 2011. Pourtant jusqu'en 2015, la commune n'a ni installé l'Association des Consommateurs d'Eau potable (ACEP) et le Cadre d'Entretien et de Maintenance des Ouvrages Simples (CEMOS). La gestion du volet ImS est externalisée par la Commune. Cette situation n'est pas de nature à faciliter les interventions car elle engendre des coûts importants et l'insuffisance des capacités communales en suivi de gestion des contrats est un obstacle sûr à la capitalisation de bons résultats.
La contractualisation avec les AR (Artisans Réparateurs) n'est pas opérationnelle, aucun stock communal de pièces de rechange n'est disponible, la filière des pièces de rechange est inexistante. Les acteurs ignorent leurs rôles et responsabilités.

3.3- Discussion sur la caractérisation des sources d'eau dans la Commune de Kandi

Les discussions sont axées autour des ouvrages hydrauliques et leurs états actuels, leurs répartitions spatiales sur le territoire communal, l'utilisation du SIG dans la gestion des infrastructures hydrauliques.

3.3.1- Infrastructures hydrauliques et leurs états dans la Commune de Kandi

Les difficultés d'accès aux sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi se posent toujours, malgré les efforts fournis par les autorités à divers niveaux. Même dans les localités très proches de Cotonou, les communautés continuent de souffrir de problème d'eau comme l'ont fait remarquer Dégbey et *al.,* (2010). En effet, ces auteurs ont notifié dans leur milieu de recherche, d'une faible couverture d'approvisionnement en eau. Aussi les autorités et certaines Organisations Non Gouvernementales (ONG) ont-elles initié des Projets d'Approvisionnement en Eau Potable, par l'implantation de multiples infrastructures hydrauliques, en vue de résoudre le problème de déficit et d'insalubrité.

Les observations et la collecte des données géo-spatiales effectuées dans la Commune de Kandi font état d'une mauvaise répartition des ouvrages hydrauliques. Les résultats obtenus sont semblables à ceux de Hounguevou et *al.,* (2014a) ; Kanohin et *al.,* (2012), qui ont aussi constaté l'inégale répartition des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Zè, au Bénin et dans la région de Daoukro au centre est de la Côte d'Ivoire. En effet, Hounguevou et *al.,* (2014a) dans leurs études sur une ''Approche SIG pour une analyse spatiale des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Zè au Benin'' ont montré que les infrastructures hydrauliques sont concentrées au centre et au sud de la Commune.

Ces résultats obtenus par Hounguevou et *al.,* (2014a) sont semblables à ceux de Evenks et Lanskoy (2000), qui ont aussi constaté l'inégale répartition des infrastructures hydrauliques dans la République d'Haïti. Kanohin et *al.,* (2012) dans leurs études ont aussi relevé l'inégale répartition des points d'eau dans la région de Daoukro et ont essayé d'identifier à l'aide des outils de la télédétection et des SIG des zones propices à l'implantation des points d'eau productifs afin de permettre une bonne couverture des besoins en eau de la région.

3.3.2- Répartition des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi

Il est d'une évidence certaine dans la Commune de Kandi que les infrastructures hydrauliques ne sont pas équitablement réparties Cette spatialisation devrait prendre en compte la démographie et d'autres pesanteurs sociologiques et culturelles du milieu et surtout la norme de la Direction Générale de l'Eau qui est d'un point d'eau pour 250 habitants (Djafarou et *al,*. 2016 ; Hounguevou, 2013). Ces constats sont corroborés par les travaux de Samman, (1998). En effet, l'auteur a souligné dans son étude qu'on accorde rarement toute l'attention nécessaire aux processus démographiques, alors que les conséquences de la dynamique spatiale de la population dictent, entre autres, l'organisation des stratégies de gestion de cette importante ressource. A cela, s'ajoutons le taux de desserte qui baisse à cause des

nombreuses pannes affectant les points d'eau. Un effort devrait être fait en tenant compte de l'avis de la communauté locale (usagers de l'eau, comité de gestion des points d'eau, sages et notables) et les organisations de la société civile dans la réalisation des projets d'hydrauliques villageoises. En principe, toutes les couches socio-professionnelles devraient être associées dans le choix et le lieu d'implantation des ouvrages hydrauliques. Ces remarques sont enrichies par les travaux de Doyelle (2008), qui soutiennent l'importance de la prise en compte de l'avis des populations dans la compréhension du lieu d'installation et la forme possible des dits ouvrages. Cette situation permettra d'éviter les difficultés d'approvisionnement en eau. C'est le cas des forages de la Commune de Kandi dont les zones de desserte ne couvrent pas toutes les localités. Par ailleurs, chaque ouvrage devrait supporter en moyenne 2500 habitants alors que pour sa durabilité, il ne peut desservir que 250 habitants (DGH, 2005). Cette surcharge des usagers créée souvent des files d'attente et des pertes de temps autour des infrastructures d'approvisionnement en eau potable. Ces faits sont renforcés par les travaux de Hounguevou et *al., (*2014b) ; Dégbey et *al.,* (2010), qui ont constaté les mêmes scénario dans les Communes de Zè et de Calavi. Les travaux de terrain réalisés dans la Commune de Kandi ont montré que les infrastructures hydrauliques sont beaucoup plus concentrées à l'ouest, au sud-ouest et au centre mais distants des ménages. Il en résulte parfois des situations de pénurie d'eau et l'orientation des usagers d'eau vers les sources inappropriées et ceci pour gagner du temps, toute chose qui compromet en partie leur santé. Ces résultats obtenus se rapprochent à ceux de Bio (2015), de Magbondé (2004), qui ont eux aussi constaté l'inégale répartition des infrastructures hydrauliques dans les Communes de Banikoara et de Sô-Ava. Attolou (2011) a fait les mêmes constats dans son étude sur l'accessibilité géographique des populations aux centres de santé dans la Commune de Savalou. A travers son étude, l'auteur a montré que les SIG constituent les outils adéquats de la géomatique pour analyser la distribution spatiale des formations sanitaires dans le territoire communal de Savalou, l'équipement des formations sanitaires, et l'appréciation de la disponibilité et de la distance séparant les populations des formations sanitaires. En outre, les distances séparant les populations du premier centre de santé dépassent 5 Km pour environ 30 % des villages ou quartiers. Cette situation pose un problème d'accès physique aux formations sanitaires des populations. Par conséquent, l'utilisation des SIG appliqués à la santé devrait permettre aux institutions et aux acteurs intervenant dans le secteur de la santé d'appréhender les problèmes qui se posent afin de prendre des décisions idoines (Attolou, 2011). Les SIG sont actuellement en plein développement. Ils constituent des outils précieux d'analyse et veille à une meilleure connaissance de la répartition géographique des espèces

notamment, les populations de crevettes Penaeidae dans le lac Nokoué pour une gestion durable de leurs écosystèmes (Kouhoundji, 2012). Ces outils lui ont permis d'appréhender les zones de concentration de ces espèces halieutiques dans le lac Nokoué à Sô-Ava.

3.3.3- SIG et gestion des infrastructures hydrauliques

Le Système d'Information Géographique (SIG) représente un outil intéressant dans l'étude de l'environnement et la modélisation spatiale des phénomènes naturels (Oussou, 2015). Il offre la possibilité de disposer de données historiques et actualisées sur la qualité de la ressource hydrique, sa disponibilité, sa gestion dans le cadre des réseaux d'adduction, la question de l'accès aux ressources en eau pour tous et de veiller à sa distribution. Cette explication rejoint l'idée de Assouma (2011), qui a créé une base de données géo-spatiales qui prend en compte la cartographie des ouvrages hydrauliques, la détermination de la vulnérabilité des ouvrages et l'identification des sites propices à la réalisation de forages. La question de l'accès aux ressources en eau est abordée à travers le regard porté aux infrastructures pour veiller à leur bonne répartition. Ces constats confirment les travaux de Djafarou et *al.,* (2016) ; Dupont et *al.*, (1998) : qui ont mis en exergue l'importance des fonctions SIG à prévoir les déficits d'eau des ouvrages hydrauliques et à assurer la distribution pour le bien-être des communautés à la base. Elle permettra éventuellement d'opérer des corrections nécessaires en se basant sur les normes de la DG Eau au niveau des zones déficitaires. Cette analyse rejoint celles de Smida et *al.,* (2006) qui ont utilisé le Système d'Information Géographique (SIG) afin d'identifier les zones perméables. Cette étude leur a permis de capitaliser des acquis car elle a révélé la réelle importance de cet outil. Pour ces auteurs, l'apport du SIG réside dans ses grandes capacités de stockage, de traitement, d'analyse et de visualisation de données. Il s'agit d'élaborer une base de données géographique et de déterminer les zones les plus favorables à la recharge. Malgré l'utilité de cet outil dans maint domaines en général et dans le secteur de l'hydraulique villageoise en particulier, plusieurs auteurs Cartensen et *al.,* (1997) ; Beck et *al.,* (1991) ont essayé de soulever en identifiant quelques contraintes pouvant nuire à l'utilisation des outils numériques. Ces facteurs peuvent être groupés selon eux en trois catégories : les contraintes technologiques, les contraintes liées aux données et les contraintes organisationnelles. Nonobstant les réserves émises par ces auteurs, beaucoup d'autres se proposent de les contourner et cherchent plutôt à les valoriser pour le bonheur de toute l'humanité.

Conclusion partielle

La présentation de la zone de recherche a permis de comprendre d'une part l'organisation administrative et d'autre part de connaitre le milieu physique et humain dans lequel vit la population de la Commune de Kandi. Les éléments du climat dans leur ensemble présentent une variation spatio-temporelle. Les caractéristiques physiques de la Commune sont favorables au développement de l'économie locale. Cette économie est essentiellement basée sur l'agriculture très dépendante des intrants agricoles de synthèse en particulier les pesticides. A l'agriculture, les paysans associent l'élevage et la pêche pour diversifier les activités et les sources de revenus. A cela, s'ajoute l'artisanat qui occupe une partie de la population. L'ampleur des activités économiques menées en particulier l'agriculture, l'élevage et la pêche contribuent à la dégradation de l'environnement et en particulier des points d'eau. Ces sources d'alimentation en eau sont soumises à de fortes pressions anthropiques. La Commune devrait exercer ses prérogatives que lui confèrent les textes de lois à travers le décret n° 2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin (Annexe XI). En effet, ce décret précise que la Commune doit veiller à la protection de la qualité de l'eau de captage en prenant des dispositions adéquates en ce qui concerne l'occupation du sol de la zone d'influence des ouvrages d'eau. Les infrastructures hydrauliques sont diverses et inégalement réparties sur le territoire de la Commune de Kandi. Selon les entretiens avec les élus locaux, les Services Déconcentrés de l'Etat (SDE), les ONG, et avec les différents acteurs de l'eau (ménages, éleveurs, agriculteurs et pêcheurs), la notion de gouvernance dans le secteur de l'eau n'est pas encore ancrée dans les habitudes de gestion des acteurs communaux. A part le PDC et le PC-Eau, la Commune ne dispose pas d'un Plan Sectoriel Eau (PS-Eau) déclinant sa vision territorialisée de gestion du secteur AEP. Le rôle de leadership de la Commune n'est pas bien assumé en vue de tirer parti par exemple de l'expérience de la SONEB en matière de tarification des services publics en eau et le recouvrement des redevances impayées. Le Comité Communal Eau (CC-Eau) existe beaucoup plus par essence que par existence. En ce qui concerne la gestion des ouvrages simples, les travaux de terrain ont révélé que i) les populations sont dans le besoin et sont préoccupées par les questions de l'eau potable ; ii) les populations exploitent et n'aiment pas payer l'eau ; iii) la gestion familiale de l'eau ; iv) l'hygiène autour des points d'eau n'est pas tellement appréciable ; v) les questions d'assainissement et d'hygiène ne préoccupent pas tant les délégataires ; vi) les populations n'ont pas la volonté d'aider la Mairie ; vii) les délégataires ont du mal à recouvrer les fonds parce que les populations n'aiment pas acheter

l'eau et les cotisations se font difficilement ; ce qui fait que beaucoup de délégataires ne respectent pas leur contrat.

Par ailleurs, l'inexistence d'outil spatial dans la distribution des infrastructures hydrauliques constitue un grand facteur limitant le développement de la Commune. Les avantages de l'utilisation du SIG dans la gestion des ressources en eau sont multiples. En ce qui concerne la distribution des ouvrages d'eau, il y a : un bénéfice du temps, un accès facile aux ressources en eau et un accès facile aux informations. La spatialisation des ouvrages hydrauliques doit tenir compte des normes de répartition des points d'eau et du nombre d'habitants par localité. La mise en place des Forages dotés de Pompes Manuelles (FPM) et des Bornes Fontaines (BF) devraient permettre l'amélioration de la santé des communautés, par la réduction des risques de maladie, la réduction de la charge du travail des femmes et des enfants à la recherche de l'eau. L'Etat à travers le Ministère en charge de l'eau, les autorités locales, les ONG et les PTF doivent s'investir davantage pour améliorer la couverture spatiale en infrastructures hydrauliques afin d'optimiser l'accessibilité. Selon les informations recueillies au Service Régional de l'Hydraulique (SRH) de l'Alibori et les travaux de terrain réalisés, la Commune de Kandi dispose de 428 ouvrages d'eau fonctionnels (PM, FPM, et AEV). Malheureusement, l'état de l'environnement de la plupart de ces sources d'alimentation en eau potable se trouve dans une situation de dégradation avancée. Au vue de ces différents types de sources d'approvisionnement en eau identifiés dans la Commune de Kandi, l'hypothèse selon laquelle : '' *Il existe plusieurs types de sources d'alimentation en eau dans la Commune de Kandi*'' est confirmée.

DEUXIEME PARTIE : ANALYSE DE LA VULNERABILITE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET IDENTIFICATION DES ZONES FAVORABLES A L'IMPLANTATION DE FORAGES DANS LA COMMUNE DE KANDI

Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau

La variété des activités domestiques et économiques (agriculture, élevage, pêche, industrie) avec leur corollaire de rejets de déchets solides (dépotoirs) et liquides, font courir à l'ensemble des eaux un risque très sérieux de pollution (Assouma, 2011). Cette situation résulte des mauvaises pratiques d'hygiène et d'assainissement observées dans les environs immédiats des ouvrages d'eau dans la Commune de Kandi. La qualité de l'eau est ainsi affectée par des matières minérales et organiques et même des micro-organismes dont certains sont pathogènes et dangereux pour la santé.

La vulnérabilité des sources d'alimentation en eau est étudiée à partir de la qualité physico-chimique et bactériologique des infrastructures hydrauliques étudiées ; des conditions d'hygiène et d'assainissement et enfin des impacts des activités économiques sur ces sources d'eau.

4.1- Cartographie de la vulnérabilité des infrastructures hydrauliques

L'analyse des résultats des échantillons d'eau prélevés dans la Commune de Kandi est fondée sur la norme béninoise n°2001-094 du 20 février 2001 (Décret n°2001-094 du 20 février 2001) et les recommandations révisées en 1994 de l'OMS en matière de la qualité des eaux de boisson. Selon ces exigences, l'eau de boisson ne doit contenir ni substances chimiques toxiques, ni germes nocifs pour la santé humaine. Les variations des paramètres physico-chimiques (température, pH, ammonium, nitrate, nitrite) et bactériologiques (Escherichia coli et coliformes totaux) des échantillons d'eau étudiés sont cartographiées.

4.1.1- Distribution spatiale de la température des ouvrages hydrauliques

La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercutions écologiques (Mahamat et *al.*, 2015 ; Leynaud, 1968). Elle affecte les propriétés physiques et chimiques, notamment la densité de l'eau, la solubilité des gaz, la viscosité et la dissociation des sels. Elle intervient aussi dans les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (Mahamat et *al.*, 2015 ; WHO, 1987). Généralement, une eau fraîche est plus agréable au goût qu'une eau tiède. C'est un paramètre assez important car elle agit sur la nature physique, chimique et microbiologique de l'eau (Assouma et *al.*, 2001). Il influe sur la chaîne de traitement et de production de l'eau potable. Les variations de la température des ouvrages d'eau étudiée dans la Commune de Kandi sont représentées dans la figure 32.

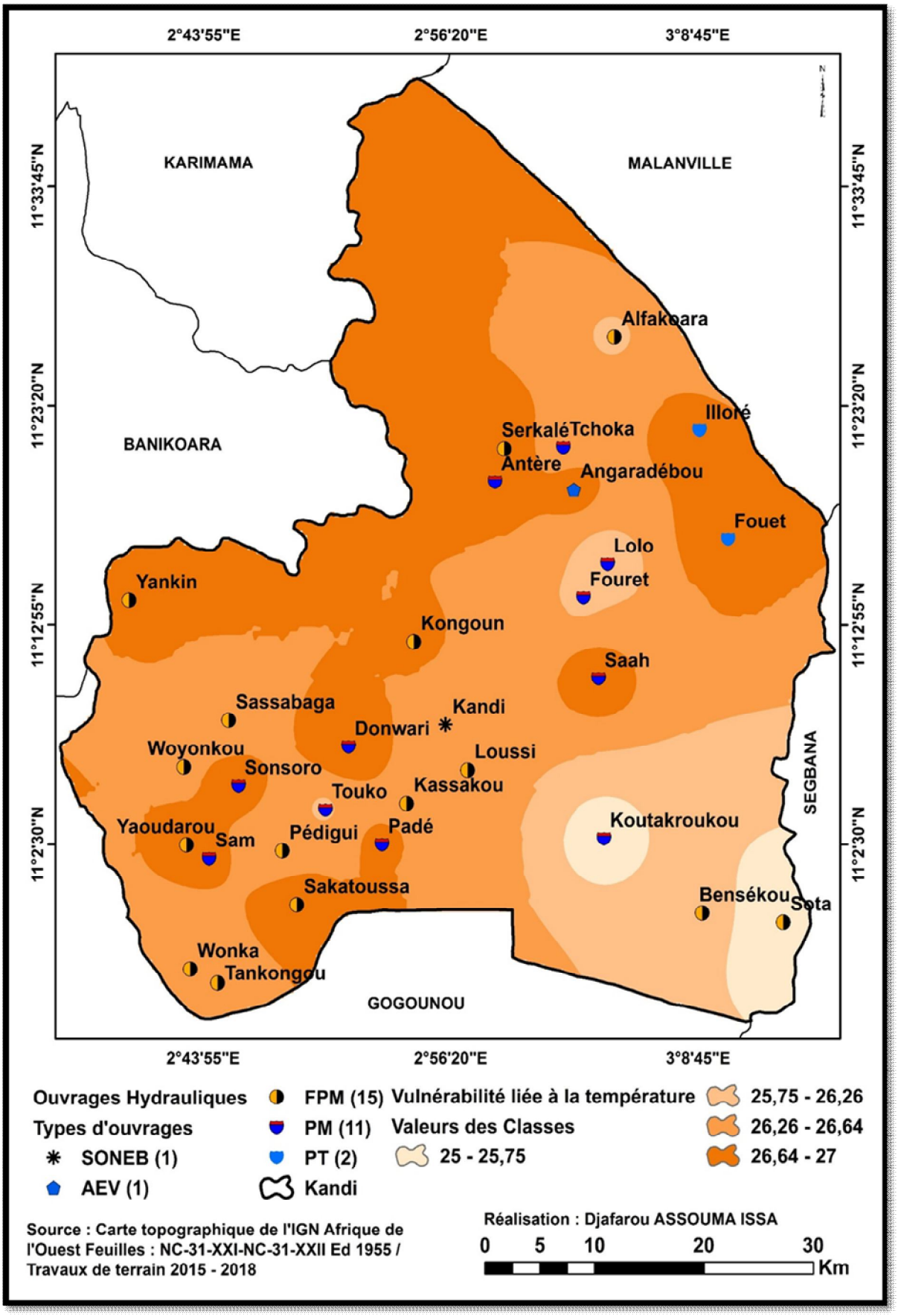

Figure 32 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la température dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

La figure 32 présente la distribution spatiale des températures des eaux des ouvrages étudiés dans la Commune de Kandi.

En se référant aux normes de potabilité de l'eau de boisson fixées par l'OMS (1994), l'eau de boisson est : excellente lorsque la température varie entre 20 et 22 °C ; passable lorsqu'elle oscille entre 22 à 25 °C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30 °C. Selon cette même source, la norme maximale acceptable de potabilité pour une eau de boisson est fixée à 25 °C. Dans le milieu de recherche, les résultats obtenus montrent que la température des ouvrages d'eau étudiée oscille entre 25 et 27 °C avec une moyenne de 26,49 °C. Eu égard à ces dispositions de l'OMS (1994), tous les échantillons d'eau prélevés sont médiocres car leurs températures sont comprises entre 25 et 27 °C. De plus, en se référant à la norme recommandée par l'OMS, un seul ouvrage d'eau (3,33 %) respecte cette norme. Le reste des ouvrages d'eau (96,67 %) étudiés ont une valeur de température supérieure à la norme fixée à 25 °C. Ces valeurs élevées de température seraient liées à la nature des diverses couches de sols traversées. Par ailleurs, l'analyse de cette figure 31 montre que les infrastructures hydrauliques étudiées dans les localités de Serkalé, de Fouet, de Donwari, de Sakatoussa et de Yankin présentent les plus fortes valeurs de température qui dépassent la norme admise (25 °C). Par contre, l'ouvrage d'eau étudié dans la localité de Sota a une faible valeur de température enregistrée (25 °C) et respecte la norme de l'OMS.

4.1.2- Distribution spatio-temporelle du pH des ouvrages hydrauliques

Le potentiel Hydrogène (pH) est un coefficient qui caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau. Une eau est acide si son pH est inférieur à 7, basique si son pH est supérieur à 7. Une eau est dite neutre à pH égal à 7. Il représente la concentration en ions hydrogènes dans une solution. Le pH d'une eau naturelle dépend de son origine et de la nature du substratum géologique des terrains traversés (Bio, 2015 ; Mahamat et *al.,* 2015). Les bactéries se multiplient en milieu neutre ou légèrement alcalin ($7 \leq pH \leq 7,5$). Pour la plupart d'entre elles, ces limites sont assez larges. L'Escherichia coli par exemple se multiplie à partir de pH égal à 4,4 jusqu'à un pH égal à 8. Les moisissures et les levures préfèrent pour leur développement un pH acide ($3 \leq pH \leq 6$) (Leclerc et *al.,* 1989 ; Fabre et *al.,* 1961).

Les normes béninoises et de l'OMS (1994) attribuent une valeur normative allant de 6,5 à 8,5 ($6,5 < pH < 8,5$) pour une eau de boisson de qualité. Les variations du pH des ouvrages d'eau étudié dans la Commune de Kandi sont représentées dans la figure 33.

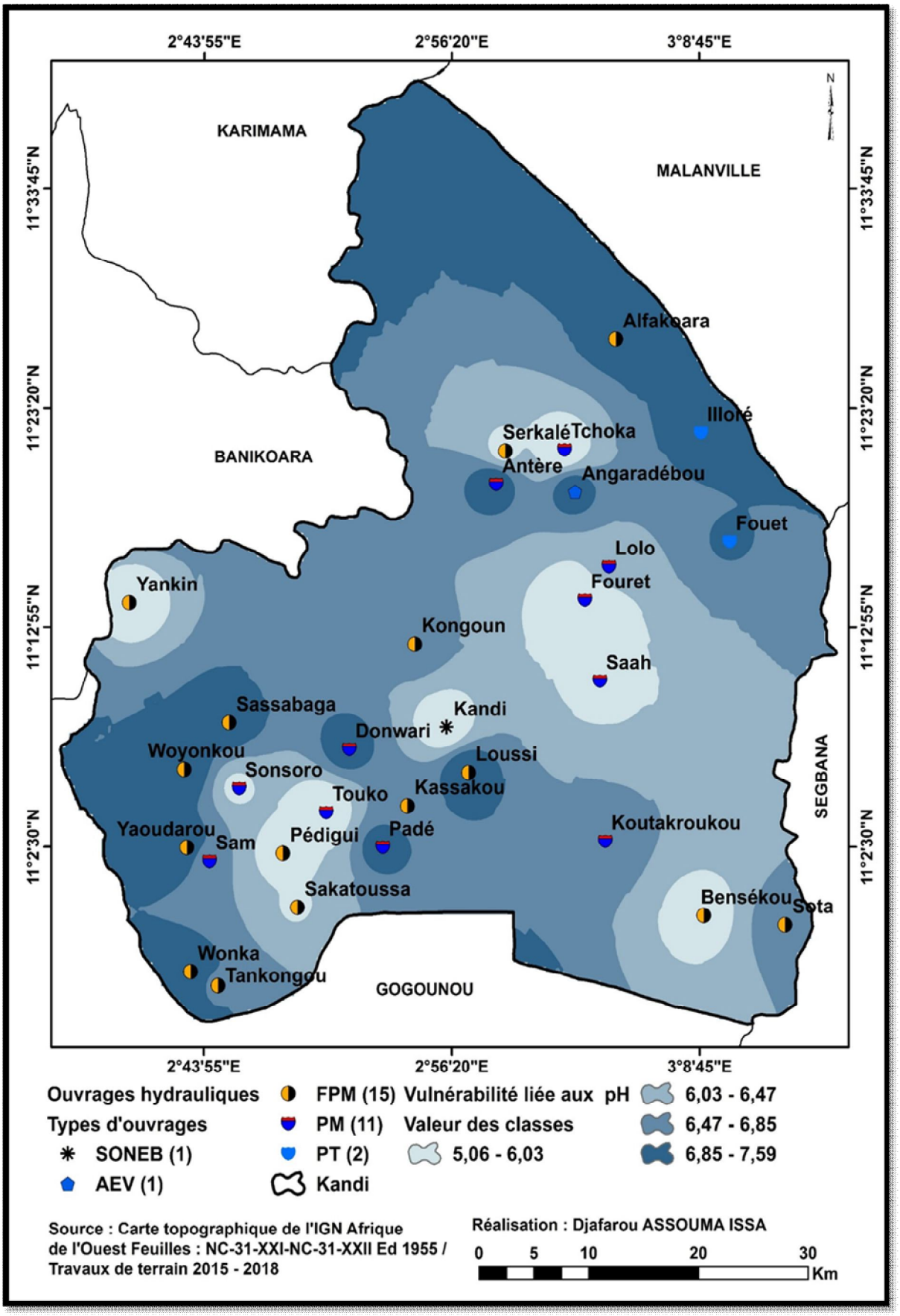

Figure 33 : Vulnérabilité des ressources en eau liée au pH dans la Commune de Kandi.

Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

De l'analyse de cette figure 33, il ressort que les eaux des ouvrages hydrauliques prélevées dans la Commune de Kandi ont une valeur de pH comprise entre 5,06 et 7,59 avec une moyenne de 6,48. Par ailleurs, 56,66 % des ouvrages hydrauliques étudiés ont un pH compris entre 6,5 < pH < 8,5. Il s'agit des ouvrages d'eau des localités d'Alfakoara, d'Iloré, d'Angaradébou, d'Antéré ; celles de Sassabaga, de Woyonkou, de Yaoudarou, de Donwari, de Wonka, de Padé et de Loussi. Le pH de ces ouvrages d'eau étudié est en phase avec la norme admise selon le décret n° 094-2001 du 20 février 2001 qui fixe les normes de potabilité de l'eau en République du Bénin et de l'OMS. Par contre, 40,33 % des ouvrages d'eau étudiés dans la Commune présentent une valeur de pH inférieure ou égale à 6,5 (valeur minimale admise par l'OMS et la norme béninoise).

Les ouvrages d'eau concernés sont ceux des localités de Tchoka, de Serkalé, de Touko, de Fouret, de Saah, de Lolo, de Sakatoussa, de Pédigui, de Sonsoro, de Bensékou et de Kandi (SONEB). L'eau de ces ouvrages étudiée présente un caractère très acide et ne respecte pas la norme prescrite.

4.1.3- Distribution spatiale de l'ammonium des ouvrages hydrauliques

L'ammonium est un composé azoté dont la présence dans une eau souterraine résulte d'une contamination de surface liée essentiellement aux rejets d'effluents domestiques ou industriels, d'un phénomène de réduction naturelle des nitrates et de la dégradation incomplète de la matière organique.

La présence de l'ammonium dans les eaux de boisson peut résulter également de la décomposition ou la putréfaction de la matière organique (matières fécales, rejets organiques) en conditions anaérobiques. La teneur maximale recommandée par le Ministère de la Santé Publique (MSP) au Bénin et l'OMS pour une eau de boisson de qualité est de 0,5 mg/L. L'évolution de la teneur en ammonium des ouvrages d'eau étudiés dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 34.

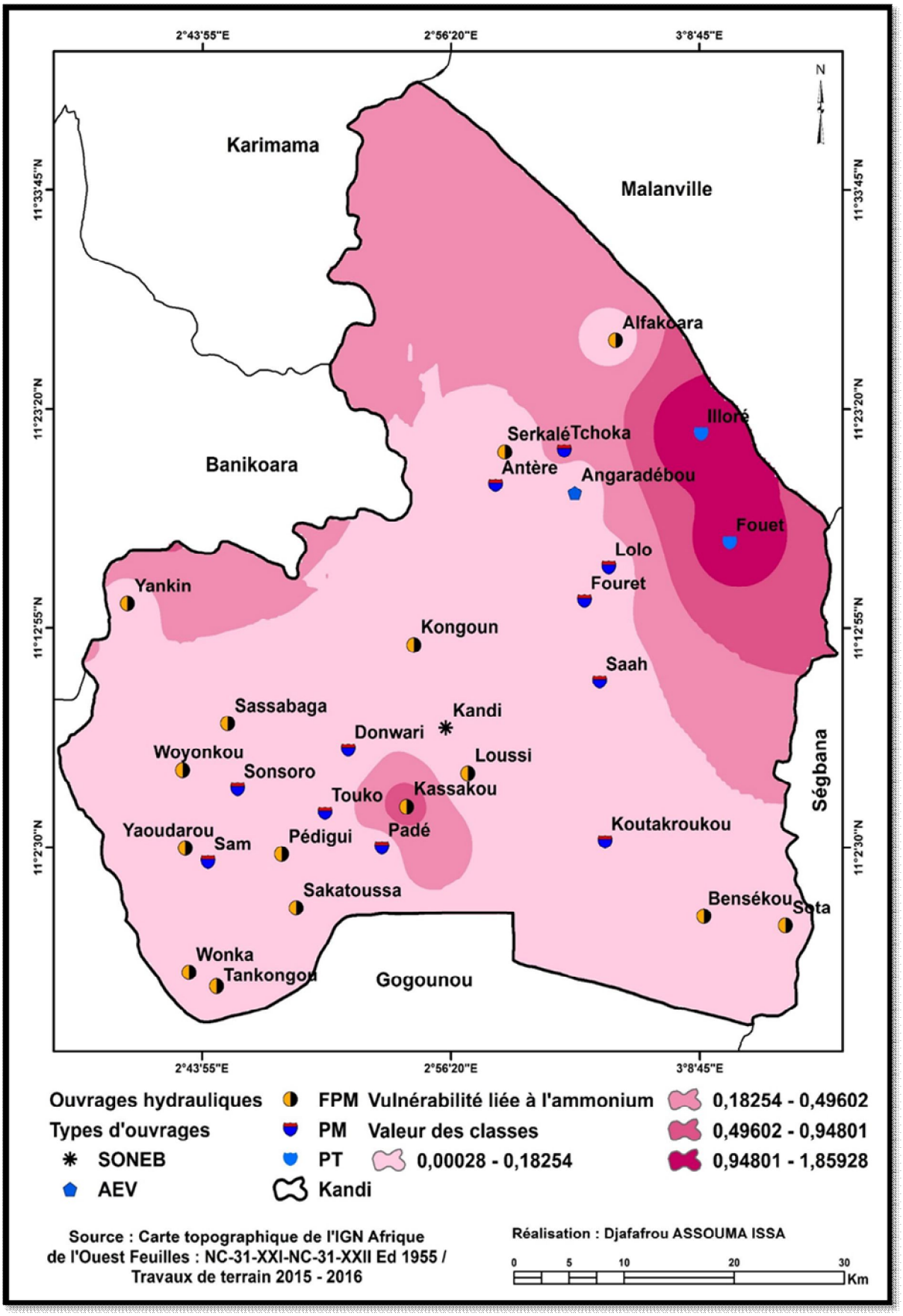

Figure 34 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en ammonium dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 – 2016

Cette figure 34 montre la distribution spatiale de la teneur en ammonium des ouvrages d'eau étudiée dans la Commune de Kandi.

La teneur en ammonium dans les ouvrages d'eau étudiée oscille entre 0,00028 et 1,86 mg/L avec une moyenne de 0,18 mg/L. Ainsi, 90 % de ces ouvrages d'eau étudiés ont une teneur en ammonium inférieure à la norme (0,5 mg/L). Seulement, 10 % des ouvrages d'eau étudiés présentent une teneur en ammonium qui dépasse largement la norme recommandée par le décret n° 094-2001 du 20 février 2001 au Bénin et les directives de l'OMS fixée à 0,5 mg/L pour une eau de boisson de qualité. Il s'agit des localités d'Iloré (1,86 mg/L), de Fouet (1,29 mg/L) et de Kassakou (0,763 mg/L).

4.1.4- Distribution spatiale des nitrates des ouvrages hydrauliques

Dérivés de l'acide nitrite (HNO_3), les nitrates (NO_3^-) sont des ions présents de façon naturelle dans la biosphère. Les nitrates résident généralement dans l'eau de surface et dans certaines eaux souterraines. Leurs quantités ont augmenté progressivement au cours des vingt dernières années à cause de l'emploi excessif d'engrais dans l'agriculture et de l'eau usée domestique et industrielle. Les engrais et les eaux usées contiennent des composés azotés, qui se transforment en nitrates. Les nitrates se retrouvent dans l'eau par ruissellement ou par infiltration. L'infiltration de l'eau de ruissellement dans le sol permet de dissoudre les nitrates présents et de les entraîner dans les nappes. Ainsi, ils représentent une menace pour la qualité de l'eau souterraine, surtout les captages peu profonds. L'absorption de nitrate est susceptible de présenter des risques sanitaires. Même si les nitrates restent encore mal évalués, les doutes sont tels qu'ils justifient pleinement l'application du principe de précaution au travers des normes rigoureuses et des contrôles sévères. En absence de contamination, la teneur en nitrate des eaux souterraines varie de 0,1 à 1 mg/L d'eau (Assouma, 2011).

La Concentration Maximale Admissible (CMA) pour l'eau de boisson de qualité est de 50 mg/L (exprimés en NO_3^-) recommandée par l'OMS et le décret n° 094-2001 du 20 février 2001 qui fixe les normes de potabilité de l'eau de boisson en République du Bénin. Les nitrates contribuent à la croissance des cellules et participent à la synthèse de l'énergie nécessaire au sang à transporter l'oxygène. Les variations de la teneur en nitrate des ouvrages d'eau étudiée dans la Commune de Kandi sont représentées dans la figure 35.

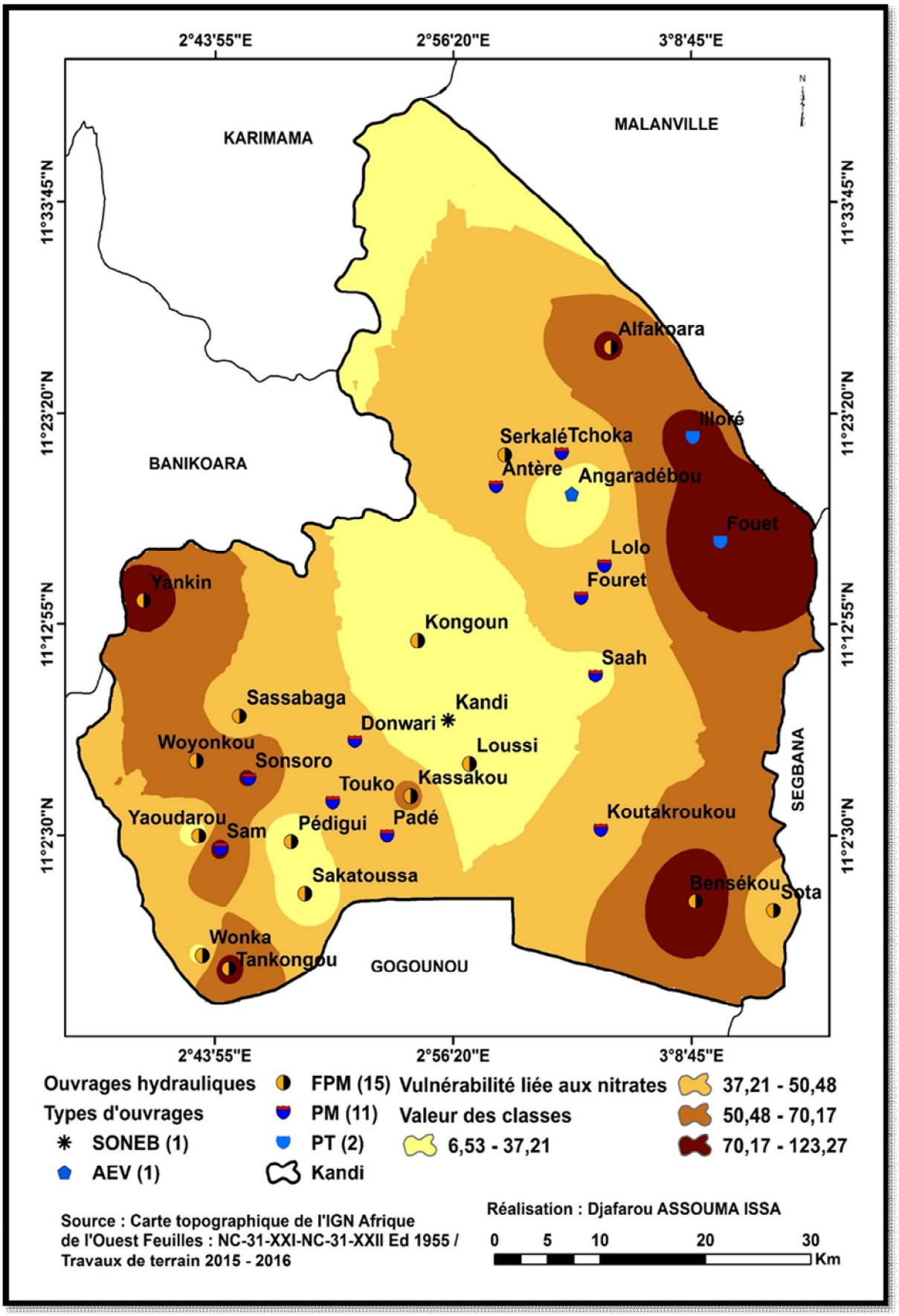

Figure 35 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en nitrate dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

La figure 35 présente la variation spatiale de la teneur en nitrate des infrastructures hydrauliques étudiée dans la Commune de Kandi. L'analyse de cette figure 35 montre que la teneur en nitrate des ouvrages d'eau étudié est comprise entre 5,48 et 167,30 mg/L avec une moyenne de 40,67 mg/L. Par ailleurs, 76,66 % des ouvrages d'eau étudiés présentent une teneur en nitrate inférieure à la norme prescrite par l'OMS. Ces ouvrages d'eau étudiés respectent alors la norme. Par contre, 23,33 % des ouvrages d'eau étudiés dans la Commune de Kandi ont un taux qui dépasse largement la norme établie par les directives de l'OMS pour une eau de boisson de qualité. Ces fortes teneurs en nitrate rendent les eaux de ces ouvrages inaptes à la consommation humaine. Il s'agit des infrastructures hydrauliques des localités de Fouet (167,30 mg/L), de Bensékou (93,9 mg/L et d'Iloré (81,5 mg/L) qui présentent des taux en nitrate les plus élevés. Les fortes concentrations de nitrate dans l'eau de boisson ont des conséquences graves et fatales chez les enfants de moins de 6 mois. De par leur nature, les nitrates ne sont ni nocifs ni toxiques. Malheureusement, des bactéries qui se trouvent dans notre estomac et nos intestins transforment les nitrates en nitrites, et ceux-ci deviennent mauvais pour la santé. Ils diminuent la capacité de notre sang à transporter l'oxygène nécessaire à notre corps. C'est là l'origine de la maladie bleue du nourrisson. L'élévation de la teneur en nitrate dans l'eau de boisson est susceptible de faire courir des risques de méthémoglobinémie (une maladie qui se caractérise par la diminution de la capacité du sang à transporter l'oxygène) chez le nourrisson appelée «syndrome du bébé bleu» et des risques de cancer chez l'adulte. Les nitrates peuvent être alors à l'origine de la formation de nitrites.

4.1.5- Distribution spatiale des nitrites des ouvrages hydrauliques

Composés chimiques, sous forme de sels dérivés de l'acide nitreux (HNO_2), les nitrites (NO_2^-) présents dans l'environnement peuvent se retrouver dans l'eau suite à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. Ce sont des produits d'oxydation intermédiaire de l'ammonium qui peuvent être rapidement oxydés en nitrate. Dans l'estomac et les intestins de certains individus, surtout les jeunes bébés, les nitrates peuvent être transformés en nitrites. La Concentration Maximale Admissible (CMA) recommandée par l'OMS pour l'eau de boisson de qualité est de 3,2 mg/L. Comme les nitrates, les nitrites contribuent à la croissance des cellules et à la synthèse de l'énergie indispensable au sang à véhiculer le dioxygène (O_2). Mais, la teneur élevée en nitrite dans l'eau de boisson peut entraîner également chez les nourrissons la méthémoglobinémie. Par ailleurs, les nitrites contenus dans l'eau ou résultant de la réduction des nitrates peuvent se combiner avec les amines pour donner les nitrosamines et d'autres composés fortement cancérigènes (Bontoux, 1993 ; Maystre et *al.*, 1993 ; OMS, 1986). La

distribution spatiale de la teneur en nitrite des infrastructures hydrauliques étudiée dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 36.

.

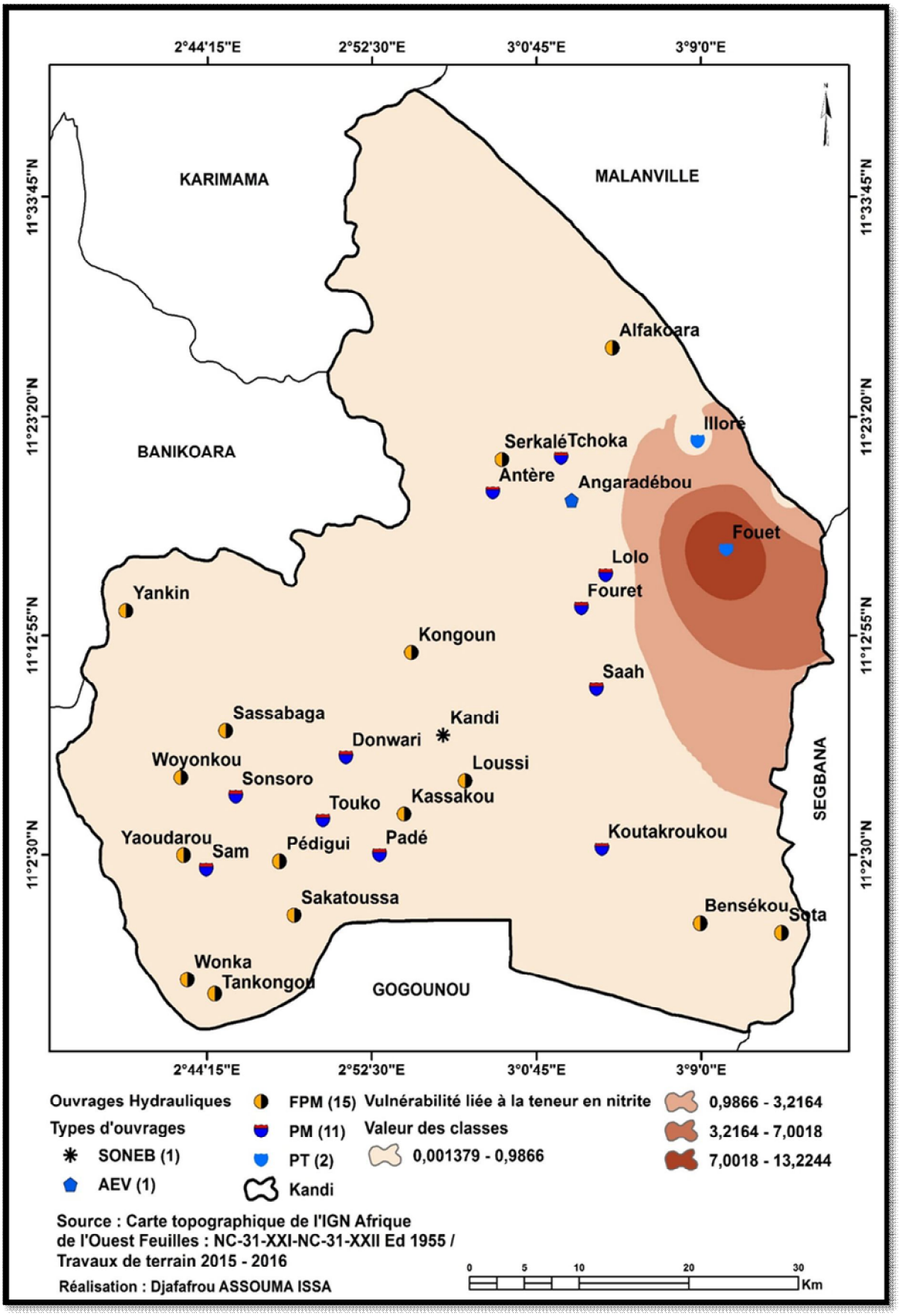

Figure 36 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en nitrite dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

La figure 36 décrit la variation spatiale de la teneur en nitrite des ouvrages hydrauliques étudiée dans la Commune de Kandi.

L'analyse de cette figure 36 montre que la teneur en nitrite des ouvrages d'eau étudiés oscille entre 0,0013 à 13,23 mg/L, avec une moyenne de 0,754 mg/L. Il ressort que 96,66 % des ouvrages d'eau étudiés ont une teneur en nitrite conforme à la norme admise par l'OMS (3,2 mg/L).

3,33 % de ces infrastructures d'eau étudiées présentent un taux qui dépasse largement la norme établie par les directives de l'OMS. L'infrastructure hydraulique étudiée dans la localité de Fouet (13,23 mg/L) montre une nette élévation de la teneur en nitrite. En conséquence, cet ouvrage d'eau de la localité de Fouet ne respecte pas la norme admise par l'OMS.

Les nitrites résultent de la transformation des nitrates. Une fois absorbés, les nitrites se combinent à l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, laquelle est incapable de fixer l'oxygène et de la transporter vers les tissus. Il en résulte une cyanose grave. Lorsque la teneur en méthémoglobine du sang dépasse 20 % de la concentration totale en hémoglobine, la cyanose devient mortelle pour les bébés.

4.1.6- Distribution spatiale des Escherichia Coli des ouvrages hydrauliques

La qualité microbiologique de l'eau est déterminée par la présence des coliformes fécaux. Ils sont normalement absents dans l'eau et signifient donc par leur présence, que l'eau testée a été souillée par les excréments. Cette contamination fécale peut être confirmée par la recherche des streptocoques fécaux. Les indicateurs usuels et normalisés de pollution microbiologique sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux (Clégbaza, 2000). Sur la base des critères établis dans le domaine, le meilleur indicateur de contamination fécale actuellement connu est la bactérie Escherichia coli. Cette bactérie est spécifique à la contamination fécale et sa présence dans le milieu est en bonne corrélation avec la probabilité d'apparition d'infection. La présence alors dans une eau de boisson des Escherichia Coli, prouve d'une manière certaine qu'il y a pollution fécale. Les normes béninoises et les instances de l'OMS recommandent 0 UFC/100 mL d'Escherichia Coli respectivement pour une eau non désinfectée et pour une eau désinfectée. Une eau destinée à la boisson doit donc être exempte d'Escherichia Coli (0 UFC/100mL). La distribution spatiale des Escherichia Coli dans les ouvrages d'eau étudiée dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 37.

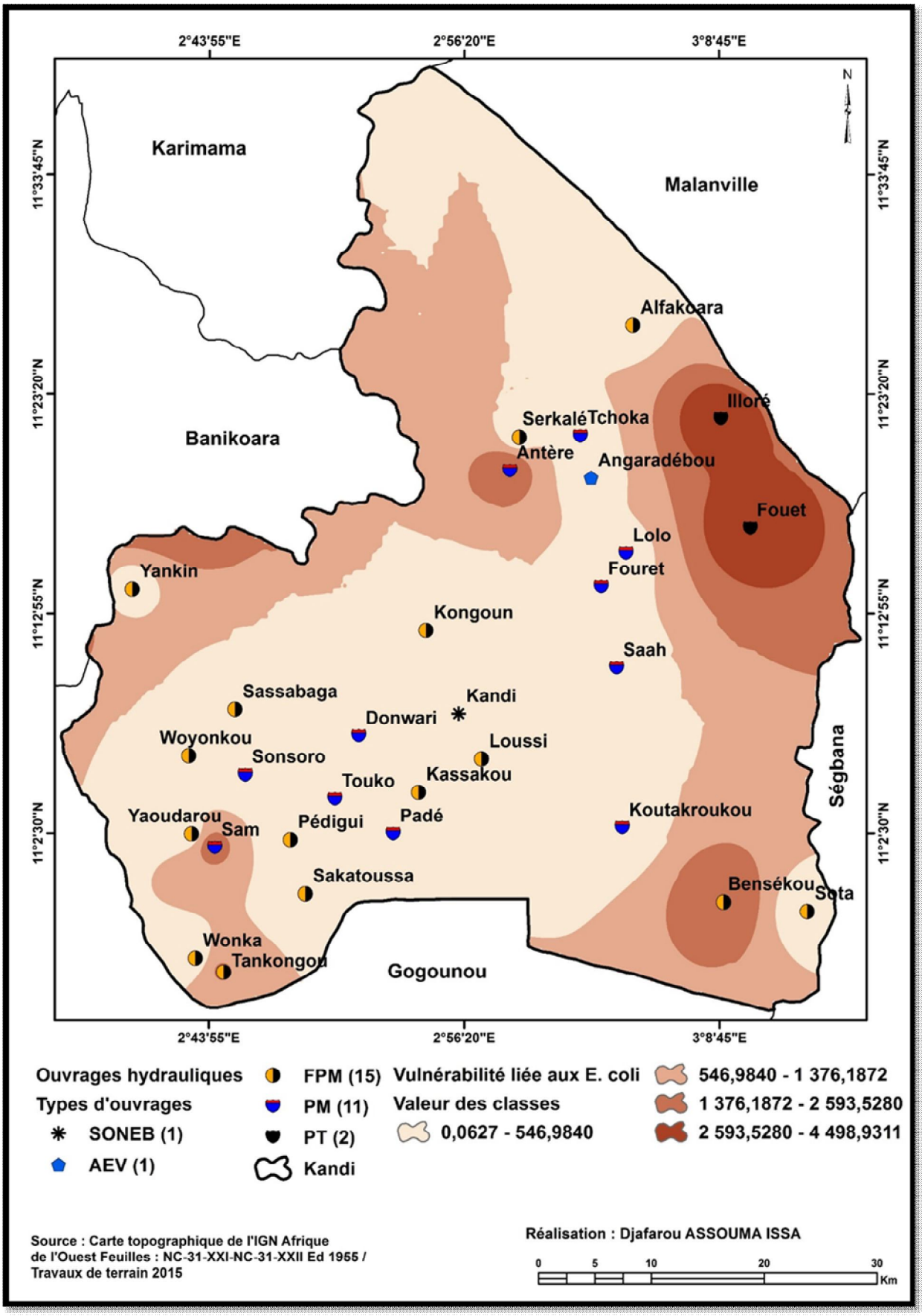

Figure 37 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en Escherichia Coli dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

Cette figure 37 montre la variation de la teneur des Escherichia coli dans les ouvrages hydrauliques étudiée dans la Commune de Kandi. Les valeurs des Escherichia Coli varient entre 0 et 4500 UFC/100 mL avec une moyenne de 606,66 UFC/100 mL. 73,33 % des ouvrages d'eau étudiés sont conformes à la norme de l'OMS (0 UFC/100 mL). 26,66 % des ouvrages d'eau étudiés ne respectent pas la norme. Ces ouvrages d'eau sont contaminés. Les infrastructures hydrauliques dans les localités de Fouet (4500 UFC/100 mL) et d'Iloré (4500 UFC/100 mL) sont les plus touchées par les Escherichia Coli. Les populations de ces localités sont exposées aux maladies du péril hydro-fécal.

4.1.7- Distribution spatiale des Coliformes totaux des ouvrages hydrauliques

L'eau de consommation ne doit pas contenir de coliformes. La présence dans l'eau de boisson de coliformes signifie que cette eau est polluée. Les directives OMS recommandent 0 UFC/100mL de coliformes totaux respectivement pour une eau non désinfectée et pour une eau désinfectée. La distribution spatiale des coliformes totaux dans les ouvrages d'eau étudiée de la Commune de Kandi est représentée dans la figure 38.

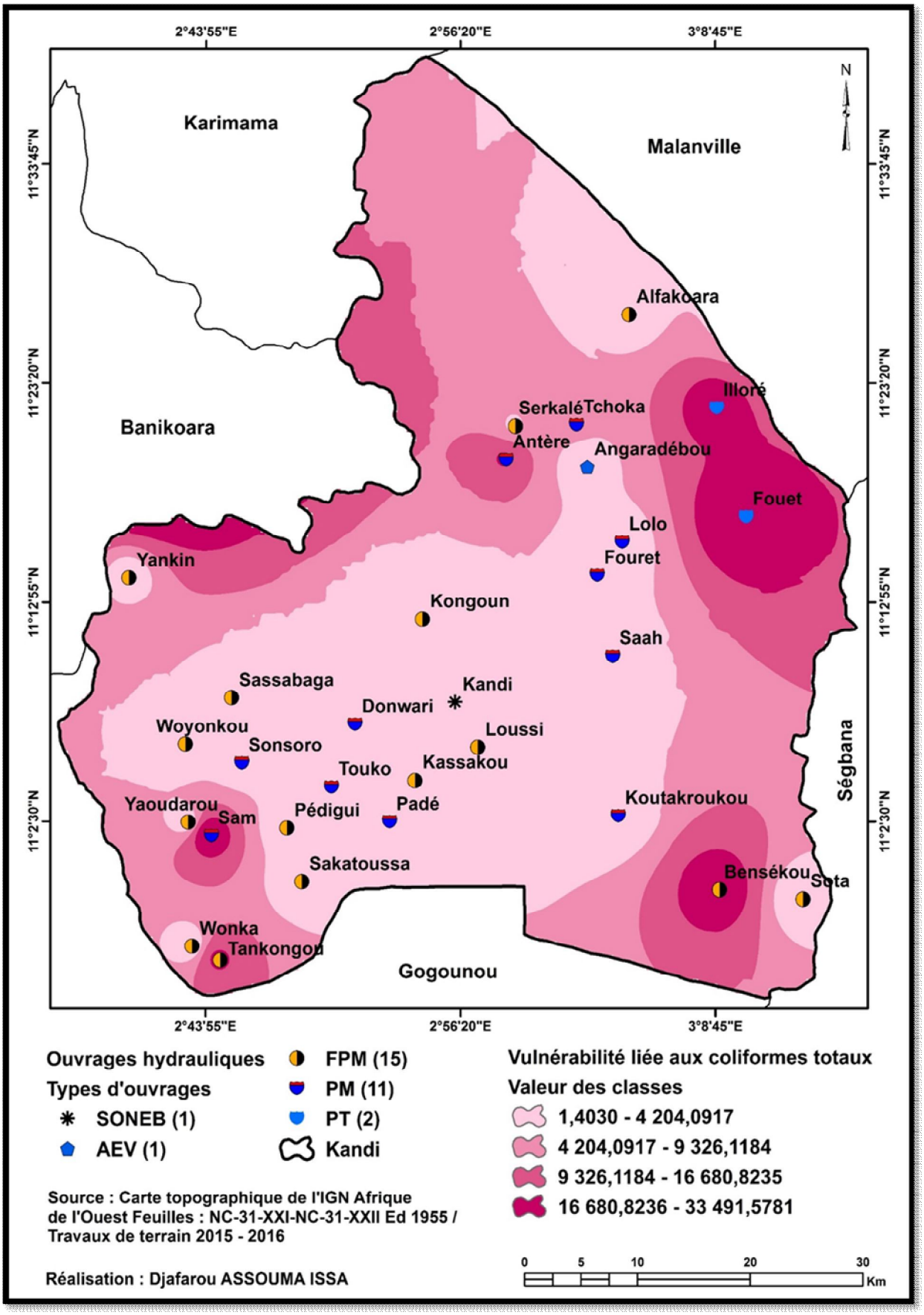

Figure 38 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en coliformes totaux dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 – 2016

Cette figure 38 montre l'évolution de la teneur en coliformes totaux des infrastructures hydrauliques étudiée dans la Commune de Kandi. La teneur des coliformes totaux des ouvrages étudiée oscillent entre 0 et 33500 UFC/100mL avec une moyenne de 5500U FC/100 mL. 33,33 % des ouvrages d'eau prélevés et analysés ne contiennent pas de germes de coliformes totaux. Ces ouvrages d'eau étudiés sont conformes à la prescription réglementaire du décret n° 2001-094 du 20 février 2001 pour qu'une une eau non désinfectée puisse être bue sans nuire à la santé du consommateur. Par contre, 66,66 % de ces ouvrages d'eau étudiés sont contaminés par des coliformes totaux qui pourraient être soit d'origine fécale généralement pathogènes, soit d'origine telluriques ou aquatiques. Les ouvrages hydrauliques des localités de Fouet (33500 UFC/100 mL), de Sam (27500 UFC/100 mL), d'Iloré (23500 UFC/100 mL) et de Bensékou (23500 UFC/100 mL) présentent les teneurs les plus élevées en coliformes totaux. Au total, les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des ouvrages d'eau étudiés ont révélé la présence massive des éléments chimiques, indicateurs de pollution azotée comme les nitrates, les nitrites et l'ammonium et des éléments bactériologiques tels que les Escherichia Coli et des coliformes totaux indicateurs de pollution fécale. Cette situation pourrait s'expliquer par le faible niveau de l'hygiène et de l'assainissement de base autour des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi. En ce qui concerne les eaux de surface, la cartographie de la teneur en ammonium, en nitrate et en nitrite sont représentées en (Annexe XII).

4.2- Sources d'approvisionnement en eau et pollution

4.2.1- Forages dotés de Pompes Manuelles (FPM)

Selon les enquêtes socio-économiques, 19,69 % des acteurs utilisent les FPM. A priori, ces sources assurent une bonne protection de la qualité de l'eau. Mais, les Forages avec Pompe à Motricité humaine (FPM) tombent régulièrement en panne et sont sans entretien adéquat. Les périmètres immédiats sont envahis par les mauvaises herbes et sombrent dans une insalubrité totale. Les animaux divaguent dans ces périmètres laissant ainsi leurs déchets (photo 3).





(e) **(f)**

Photo 3 : FPM doté de pompes manuelles (à bras) à Tissarou et (à pied) à Banikani (Prise de vue, Assouma, juin 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**e**) : Cette photo (3e) montre un usager entrain de puiser de l'eau auprès d'une pompe manuelle à bras. On note également la présence d'un bœuf en divagation aux abords du forage. Ces animaux déposent leurs excréments dans les rayons de l'ouvrage. Les abords de la source sont herbeux et compromettent la sécurité des usagers.

(**f**) : Il s'agit d'une pompe manuelle à pied. La dalle contenant de la boue et autres impuretés, est dans une dégradation avancée. Les périmètres immédiats de cette source sont herbeux.
Des travaux champêtres sont exercés non loin de certains ouvrages d'eau (photo 4).



(g)

Photo 4 : FPM à Kassakou envahi par un champ de coton (Prise de vue, Assouma, décembre 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**g**) : Cette photo 4 montre une pompe manuelle au milieu d'un champ de coton. Les intrants agricoles drainés par les eaux de ruissellement par le phénomène d'infiltration polluent facilement la nappe.

Les comités de gestion chargés de veiller à l'entretien de ces ouvrages d'eau ne fonctionnent pas bien et les ouvrages sont abandonnés et exposés à toutes sortes d'intempéries.

4.2.2- Puits Modernes à grands diamètre (PM)

Les enquêtes sur le terrain ont révélé que 18,76 % des acteurs exploitent ces sources. En principe, l'eau des puits modernes à grand diamètre est potable, car non seulement, elle est issue de la nappe très profonde, mais aussi ces puits disposent d'un système de protection à savoir la margelle, le couvercle, le puits perdu et la dalle anti-bourbier. Malheureusement, ces dispositifs de protection sont mal entretenus. L'eau de pluie chargée d'énormes impuretés pénètre facilement dans ces infrastructures hydrauliques. Les animaux divaguent autour de ces ouvrages d'eau, déposant ainsi leurs excréments. Ces puits sont également envahis par les mauvaises herbes. Les travaux domestiques (lessive et vaisselle) sont exercés à proximité de ces ouvrages (photos 5).



(h) **(i)**

Photo 5 : Puits Modernes à grands diamètre (PM) à Padé (Prise de vue, Assouma, novembre 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016.

(**h**) : Cette photo 5(h) montre un enfant entrain de se laver sur la dalle laissant le savon sur la margelle du PM à ciel ouvert. La puisette est déposée sur la dalle contenant de l'eau savonneuse. Du coup, la qualité de l'eau de l'ouvrage est dégradée et compromet la sécurité des autres usagers.

(**i**) : Une femme entrain de faire la lessive non loin du PM à ciel ouvert. Cet ouvrage n'est pas aussi éloigné des latrines.

Certains PM sont dotés de dispositifs modernes de puisage (photo 6j). Par contre, d'autres n'en disposent pas et ce sont les populations riveraines qui dotent ces ouvrages de dispositifs précaires de puisage (photo 6 k).





(j) **(k)**

Photo 6 : Puits Modernes à grands diamètre (PM) à Fouret (Prise de vue, Assouma, mars et juillet 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016.

(**j**) : Cette photo présente le nouveau modèle de PM. Le dispositif de puisage est composé de poulie reliée à un treuil et d'un couvercle. Par ailleurs, on note la présence d'un usager entrain de puiser de l'eau. La dalle est bien construite mais les conditions d'hygiène et d'assainissement ne sont pas observées autour de cet ouvrage. Le PM végète dans une insalubrité totale.

(**k**) : Les conditions d'hygiène et d'assainissement ne sont respectées aux alentours de cet ouvrage. Les herbes observées autour de cet ouvrage servent de nids aux reptiles.

4.2.3- Puits Traditionnels (PT)

Selon les travaux de terrain, 5,25 % des acteurs rencontrés sur le terrain utilisent ces sources. Ainsi, ces puits sont sans protection et se retrouvent dans une insalubrité totale. Ils tarissent souvent car la hauteur d'eau (captage) est très faible. Le niveau de captage est sans soutènement, ce qui entraîne l'éboulement fréquent de ces puits. La plupart des puits sont très proches des concessions. La margelle de la plupart de ces ouvrages est dégradée

compromettant ainsi la sécurité des usagers. Les parois de ces puits servent souvent de niches écologiques pour les oiseaux. Les eaux usées domestiques, les eaux de ruissellement et toutes impuretés pénètrent facilement dans ces ouvrages (photo 7).



(l) **(m)**

Photo 7 : Puits Traditionnel (PT) de fortune à Fouet dans l'arrondissement de Saah (Prise de vue, Assouma, février 2015). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**l**) : L'analyse de cette photo (l) montre un enfant entrain de puiser de l'eau, debout, les pieds posés sur une ‘’margelle en bois’’ précaire à même le sol avec tout le risque que cela comporte. L'environnement immédiat de l'ouvrage est constitué de feuilles mortes, de débris de bois mélangés à des eaux usées qui se retournent dans le puits. L'enfant puise donc de l'eau pour faire sa vaisselle.

(**m**) : L'enfant est en train d'exercer la vaisselle à quelques mètres du puits. L'eau usée provenant de cette vaisselle se retourne dans l'ouvrage contaminant la nappe ; de même, les eaux de ruissellement chargées d'impuretés pénètrent facilement dans le puits. Les règles élémentaires d'hygiène et d'assainissement ne sont pas respectées. Certains puits sont réalisés parfois dans les champs. C'est le cas d'un camp peul à Firi (photo 8).





(n) **(o)**

Photo 8 : Puits Traditionnel (PT) dans un camp peul à Firi dans l'arrondissement de Kandi 3 (Prise de vue, Assouma, janvier 2015). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016.

(**n**) : Deux femmes entrain de puiser de l'eau dans un puits à ciel ouvert sans margelle situé dans un champ de maïs et de sorgho déjà récolté. Le pourtour du puits est boueux. Les femmes peuvent facilement glisser et se retrouver à l'intérieur.

(**o**) : la fillette qui a accompagné sa maman n'est pas épargnée du danger. Les eaux de ruissellement chargées d'intrants agricoles, les mottes de terre et les débris de tiges pénètrent aisément dans le puits.

D'autres puits sont réalisés avec une mini margelle dotée de poulie ou non (photo 9).





(p) **(q)**

Photo 9 : Puits Traditionnel (PT) à Kofoissa à gauche et à Lolo à droite dans l'arrondissement d'Angaradébou (Prise de vue, Assouma, février 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**p**) : Un enfant entrain de puiser de l'eau dans un puits à ciel ouvert réalisé dans un bas fond. Le puits est envahi par l'eau stagnante (très sale) qui accueille toutes sortes de déchets.

(**q**) : Une femme entrain de faire la lessive à quelques mètres d'un puits à ciel ouvert disposant d'un système de poulie traditionnelle.

Les mauvaises conditions d'hygiène au niveau de ces puits permettent d'affirmer qu'ils offrent une eau impropre à la consommation.

4.2.4- Eaux de surface

Les eaux de surface en particulier les retenues d'eau font également partir des sources d'approvisionnement en eau pour des divers usages des communautés. Ces étendues d'eau mal entretenues sont chargées d'impuretés. Ces réceptacles reçoivent l'eau de pluie qui amène les déchets de toute sorte. Malgré le degré de pollution élevé de l'eau de ces sources, 46,34 % des acteurs rencontrés sur le terrain utilisent ces sources à des fins diverses. Elles servent ainsi de source pour l'abreuvement des animaux, l'agriculture à travers le maraichage, la pisciculture et les usages domestiques (boisson, lessives, vaisselles et lavage de divers produits tropicaux). La photo 10 montre les activités exercées aux alentours et au sein de ces sources d'eau.



(r) **(s)**

Photo 10 : Activités domestiques et abreuvement des animaux au niveau des retenues d'eau à Bénè et à Yaoudarou, arrondissement de Sonsoro (Prise de vue, Assouma, janvier 2016).

Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016

(**r**) : Des femmes et des enfants entrain de faire la lessive à quelques mètres de la retenue d'eau ; pendant ce temps une autre dame a recueilli de l'eau et est en train de transporter cette eau pour la maison. Les eaux usées issues de cette pratique se retournent et polluent la source ce qui crée des dommages aux autres usagers.

(**s**) : Un troupeau de bœuf entrain de s'abreuver au niveau de la mare. Les animaux laissent leurs déchets et urinent à l'intérieur de la mare ; ce qui contamine la source et ses environs immédiats. A côté de ce troupeau, on note la présence de quelques femmes entrain de d'exercer les activités ménagères (lessive, vaisselle, nettoyage des produits tropicaux). Ces différends activités menées contribuent à la dégradation de la qualité de ces ouvrages.

L'analyse de ces photos montre que les retenues d'eau constituent des points d'ancrage de plusieurs activités. Divers acteurs exerçant des activités différentes sont retrouvés au niveau de ces sources. Les cours d'eau constituent aussi des lieux d'approvisionnement en eau. La photo 11 montre un usager entrain de prendre de l'eau dans un bidon.



(u) **(v)**

Photo 11 : Approvisionnement en eau d'un usager dans la rivière de l'Alibori et activités de ménage dans le lit du cours d'eau de Sosso à Kandifô. (Prise de vue, Assouma, janvier 2016).

Source : Travaux de terrain, 2015 – 2016

(**u**) : Cette photo 11(u) montre un agriculteur entrain de s'approvisionner en eau à l'aide de plusieurs bidons pour le maraichage. Les eaux de ruissellement contenant des intrants agricoles et des matières fécales sont déversées dans ces sources.

(**v**) : Cette photo 11(v) montre le lit du cours d'eau. On note la présence des femmes entrain d'exercer les activités de ménage.

La mauvaise gestion des eaux usées, des ordures ménagères et des excréta contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

4.3- Impact de l'assainissement sur les ressources en eau

4.3.1- Par rapport aux immondices

Selon les travaux de terrain, dans les ménages, les ordures sont jetées dans des trous, aux alentours des maisons, dans les champs (pour les fertiliser), dans les caniveaux de voirie là où il en existe et parfois au près des sources d'approvisionnement en eau. Les dépotoirs sauvages (tas d'ordures ménagères) sont légions dans tous les arrondissements, villages, quartiers de ville et hameaux. Ces ordures constituent des foyers propices où se multiplient les insectes (mouches, moustiques) qui transmettent des maladies. Face à cette situation d'insalubrité, beaucoup d'opérateurs privés (ONG de pré collecte) que sont : ADEDU-ONG, ABABORI, OASIS-ONG et BETHESDA-ONG se sont investis dans la pré-collecte des ordures ménagères dans la ville. Les activités de pré collecte de toutes ces ONG, excepté l'ONG BETHESDA, ont cessé, faute de moyens financiers et à cause du faible taux d'abonnement et de recouvrement des frais d'abonnement. Ainsi, seulement 39,05 % des ménages reconnaissent l'existence d'une structure de pré collecte dans leur quartier et ceci au centre-ville de la Commune. Selon l'ONG BETHESDA, par jour environ 2,5 tonnes d'ordures sont produites et moins de la moitié est enlevée et transférée à la décharge. L'insuffisance de moyens financiers, techniques et humains, le désintéressement et les actes peu respectueux des règles d'assainissement du cadre de vie constituent des facteurs bloquant la pérennisation des actions entreprises dans le cadre d'une gestion appropriée des Déchets Solides Ménagers (DSM) dans la Commune.

La méthode d'interpolation par ''*Kriging de Spatial Analyst*'' a permis d'élaborer la carte de vulnérabilité des infrastructures hydrauliques liées aux immondices (figure 39) et tenant compte de l'épandage des couches de roches sur le terrain. Les immondices ont été considérées en fonction de leur importance et de leur proximité aux sources d'approvisionnement en eau et aux habitations. Les couches des immondices et celles des infrastructures hydrauliques ont été ensuite superposées.

La génération du polygone de Thiessen est un type d'analyse de proximité ou de voisinage qui a permis d'observer les immondices proches de telle ou telle infrastructure hydraulique par rapport aux autres ouvrages d'eau. Un polygone est construit autour de chaque immondice et comporte les ouvrages d'eau proches de cette immondice.

Après la génération du polygone, une requête "*select by location*" de la fonction ‘’*Selection*’’ de *Arc Map 10.3* a été faite pour extraire les sources d'approvisionnement en eau qui sont proches des grosses immondices.

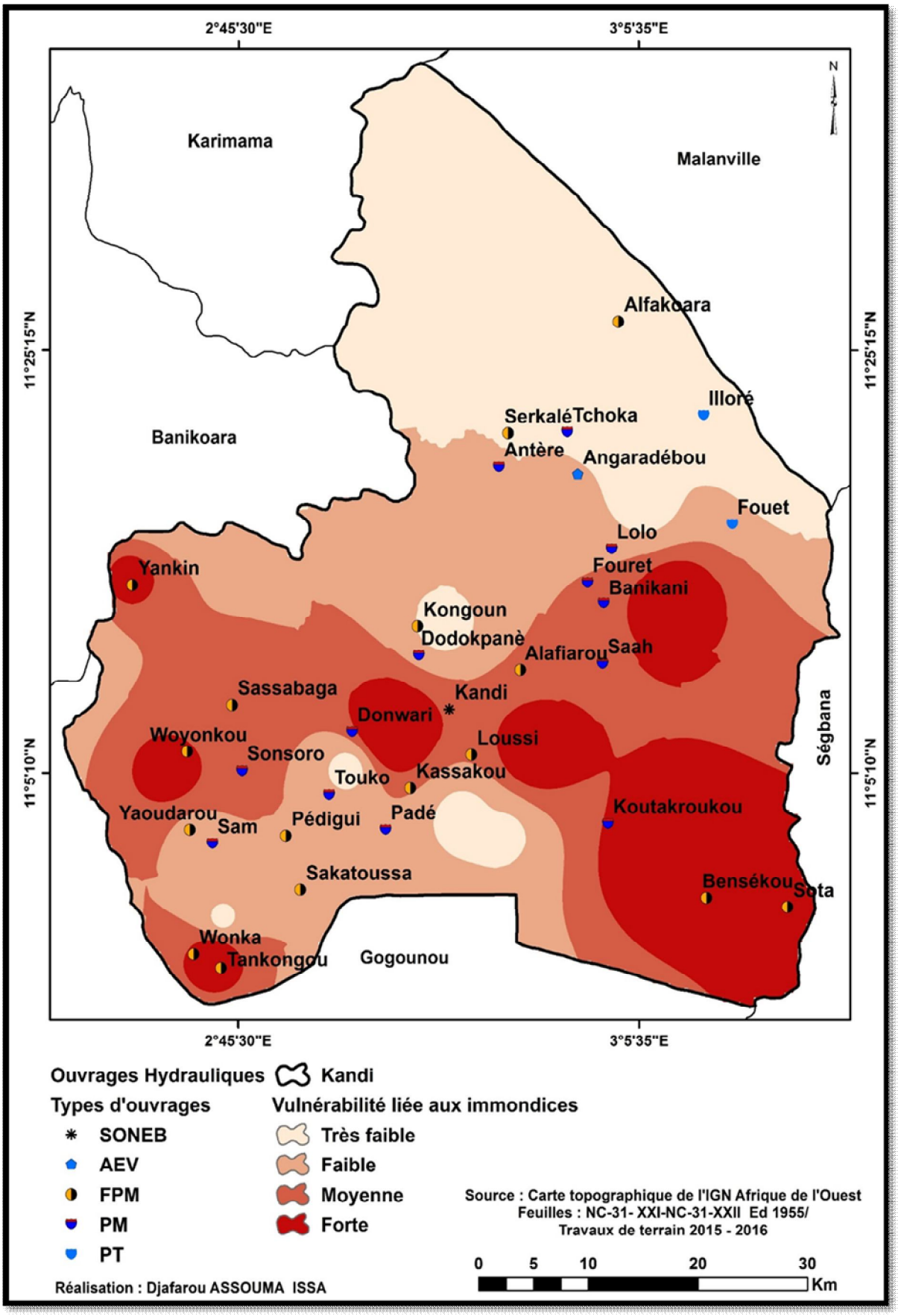

Figure 39 : Vulnérabilité des ressources en eau liées aux immondices dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

L'analyse de cette figure 39 montre que les ouvrages hydrauliques étudiés des localités de Bensékou, de la Sota, de Koutakroukou, de Wonka, de Tankongou, de Woyonkou et Yankin sont les plus exposés aux immondices. Ainsi, les populations de ces localités de la Commune de Kandi sont plus confrontées aux maladies du péril hydro-fécal. Les conditions d'hygiènes et d'assainissement de base autour de ces ouvrages d'eau sont déplorables. Dans l'ensemble du territoire communal, il urge de maintenir la veille citoyenne dans l'optique de sensibiliser les usagers à maintenir propre les alentours des ouvrages d'eau. Les arrondissements les plus vulnérables sont Bensékou qui ne bénéficie plus d'appui pour la gestion des déchets et où la ville de Kandi oriente la décharge des ordures actuellement ; Saah où les populations cohabitent avec les immondices par défaut de présence de structures de collectes des déchets ; Kandi 3 qui abrite l'un des sites de décharge finale ; Donwari et Sonsoro bien que moins vulnérables présentent aussi des poches non négligeables d'immondices qui exposent les populations au danger permanent pour leur santé.

4.3.2- Par rapport aux eaux usées

Pour la gestion des eaux usées, les ménages des quartiers urbains de la ville ont bénéficié de l'appui du Projet Opération Ville Propre (P/OVP), de Villefranche, et du FDL-APIDA pour la construction de puisards/fosses septiques. Mais, les besoins existent toujours, car la demande est plus forte que le nombre d'infrastructures construites. Ceci s'observe par un débordement des eaux usées des puisards traditionnels devenant de plus en plus des réceptacles de déchets de toutes sortes. Certains ménages essaient de solliciter le camion hydro-cureur de la Mairie pour la vidange pour un coût allant de 10 000 à 30.000 FCFA selon le nombre de voyage. Cette opération de vidange ne se fait pas cependant, en respect des normes environnementales puisque la destination des eaux reste inconnue. Or, la Commune dispose d'un site (non aménagé) pour abriter la station d'épuration dans l'arrondissement de Kassakou. Par contre, d'autres ménages font appel à la main d'œuvre locale pour la vidange de leurs puisards dont les eaux extraites sont versées directement sur les voies et dans les collecteurs d'eaux pluviales. Selon la Direction des Services Techniques (D/ST) de la Mairie, le réseau de drainage des eaux pluviales de la ville compte environ 15 000 mètres linéaires de collecteurs à ciel ouvert et 6 000 mètres linéaires de caniveaux fermés. Ces collecteurs ont été construits sur financement de la SNV, du Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU) et le Projet de Gestion Urbaine Décentralisée (PGUD) phase 2. Les collecteurs construits sur financement du SNV sont situés sur l'axe est-ouest. Les collecteurs construits sur financement du MEHU sont situés sur l'axe est-ouest. Les collecteurs construits sur

financement du PGUD 2 sont situés sur l'axe nord-sud et est-ouest. De par leur situation, tous ces collecteurs déversent leurs eaux dans le marigot. L'entretien du réseau de drainage des eaux pluviales se fait deux fois par an : une avant la saison des pluies et l'autre après. Ces travaux se font sur financement de la Mairie et les ONG DCAM-BETHESDA et ADEDU ONG sont les prestataires de service.

4.3.3- Par rapport aux latrines

Dans les arrondissements ruraux, en dehors des latrines publiques, des centres de santé et des écoles, la quasi-totalité des latrines au niveau des ménages sont réalisées sans aucune norme requise. Pour se mettre à l'aise certaines catégories de populations sont dans la triste obligation d'utiliser des pots dont le contenu est rejeté non loin des habitations. Par contre d'autres soucieuses des problèmes d'hygiène et d'assainissement creusent des trous peu profonds dans lesquels des récipients sont introduits afin de lui conférer la forme apparentée aux latrines acceptables des normes.

En milieu rural, le problème de vidange ne se pose pas du tout car, selon les enquêtes ménages, la majorité des populations défèquent dans la nature. Pour les ménages ruraux disposant de latrines, la vidange se fait manuellement ou les fosses sont mises au repos pendant des années et leur contenu est traité par divers produits corrosifs.

En milieu urbain, la Commune ne dispose pas de beaucoup d'infrastructures publiques et elle ne tire pas de recettes de celles qui existent dans les marchés urbains et la gare routière. Cette situation s'explique d'une part, par la non-adhésion des populations au principe du paiement pour l'utilisation des latrines publiques et, d'autre part, par l'insuffisante rentabilisation des sources de revenus communales par la Mairie. Les ménages urbains se dotent de latrines et puisards déjà réalisés dès la construction de leurs maisons.

Par rapport à la vidange des fosses septiques, la Commune dispose d'un camion-vidangeur, le seul pour le département de l'Alibori, qui offre ce service aux ménages, aux services publics et privés qui le sollicitent. Selon la Direction des services financiers de la Mairie, le tarif appliqué est compris entre 10.000 et 30 000 F CFA selon le volume de la fosse.

Faute de moyens financiers, les populations font recours habituellement à la vidange mécanique des fosses septiques lorsqu'elles sont pleines. Les boues de fosse sont déversées dans les champs isolés ou enterrées non loin des concessions. Le tableau XIX présente le mode d'évacuation des excréta dans la Commune de Kandi.

Tableau XIX : Mode d'évacuation des excréta

Arrondissements	**Mode d'évacuation des excrétas**			**Total**
	Latrines		Plein air	
	Familiales	*Institutionnelles*		
Kandi 1	7	7	8	**22**
Kandi 2	9	16	5	**30**
Kandi 3	8	11	4	**23**
Kassakou	5	4	13	**22**
Donwari	7	10	12	**29**
Sonsoro	3	7	10	**20**
Sam	4	14	10	**28**
Saah	3	5	3	**11**
Angaradébou	8	11	16	**35**
Bensékou	2	6	5	**13**
Total	**56**	**91**	**86**	**233**

Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016

Le tableau XIX montre que la proportion des ménages disposant d'une latrine familiale est établie à 24,03 %. Par contre 39,05 % utilisent les latrines des institutions (écoles, mosquées et centres de santé) et 36,90 % utilisent la nature comme mode d'évacuation des excrétas. Cependant, il existe des disparités d'un arrondissement à un autre en matière de taux de couverture en latrine familiale. Les contraintes majeures du faible taux de couverture en latrine familiale sont notamment le manque d'information sur la construction des latrines à faible coût, le manque de ressources pour faire face aux dépenses liées à la réalisation des toilettes et la faible valorisation des savoir-faire locaux. La situation géographique des latrines est représentée dans la figure 40.

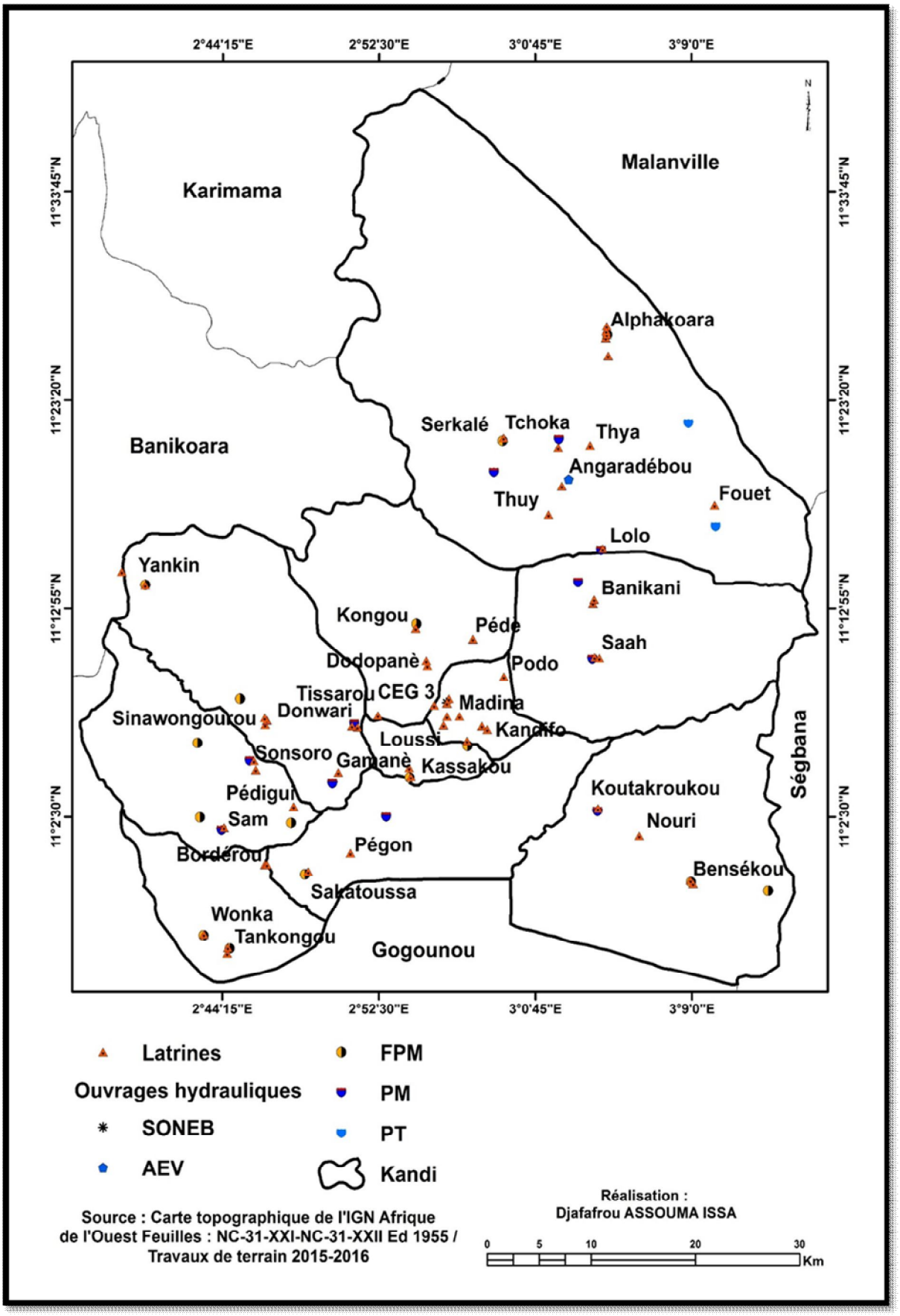

Figure 40 : Répartition spatiale des latrines publiques dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016

La figure 40 présente la répartition spatiale des latrines publiques dans la Commune de Kandi. Au moins une latrine publique est réalisée dans chaque arrondissement. Par ailleurs, l'analyse de cette figure 40 montre que les latrines sont plus concentrées au centre de la Commune. Le nord et sud-est sont pratiquement dépourvus. Cette situation s'explique par le fait qu'il y a une faible couverture de latrines publiques dans ces zones et que les ménages optent pour la construction et l'utilisation des latrines précaires ou carrément, ils se mettent à l'aise en plein air auprès d'un buisson ; ce qui les expose aux maladies du péril hydro-fécal.

4.4- Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et assainissement

La synthèse des Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) relevés au cours des entretiens et focus group en matière d'hygiène et d'assainissement dans la Commune de Kandi sont énumérés dans le tableau XX.

Tableau XX : Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et assainissement dans la Commune de Kandi

Environnement interne		***Environnement externe***	
Forces	**Faiblesses**	**Opportunités**	**Menaces**
Existence de services communaux dédiés à la gestion du secteur hygiène et assainissement	Abandon des campagnes de salubrité dans les quartiers ; Manque d'initiative de la part des chefs quartiers.	Apports des partenaires techniques et financiers (PTF) dans le secteur hygiène et assainissement	-
Existence d'un cadre contractuel entre ONG de pré-collecte et la Commune	-	Existence des ONG d'assainissement de base : DCAM ONG	Risque de maladies liées à un environnement insalubre
Effectivité de l'exercice de la fonction de pré-collecte par les ONG	Faible taux d'abonnés ; faible mobilisation des ressources ; Non-respect du zonage établi avec la Commune par certains opérateurs de pré-collecte des déchets solides.	-	Non-paiement des redevances d'enlèvement des ordures
Volonté affichée de l'autorité communale	Ignorance des populations vis-à-vis du secteur de l'hygiène et de l'assainissement ; Insuffisance de caniveaux ; panne prolongée du camion vidangeur ; Divagation des animaux en ville.	Partenariat de la mairie avec les pays du Nord ; Présence de l'intercommunalité : APIDA.	Perte de financement
Existence de moyens roulants pour la collecte des ordures	Précarité des moyens de pré-collecte utilisés par certaines ONG	-	-
-	Défécation à l'air libre gestion communautaire des latrines publiques par certains délégataires	-	Inondation

Source : Travaux de terrain, 2015-2016

Malgré les arrêtés communaux portant création et fonctionnement des différentes structures opérant dans le secteur de l'Hygiène et de l'Assainissement, le problème d'hygiène et de l'assainissement perdure dans la Commune de Kandi. L'analyse du tableau XX soulève des problèmes de gouvernance autour des questions liées à l'hygiène et de l'assainissement qui se présentent comme suit :

- L'installation des fosses septiques sur les voies publiques surtout à Kandi centre ;
- La mauvaise gestion des eaux usées et des ordures ménagères ;
- L'absence de cadre de concertation pouvant œuvrer à une synergie d'action dans le secteur de l'hygiène et de l'assainissement ;
- La faible implication des élus locaux dans la gestion des questions d'Hygiène et Assainissement ;
- L'incivisme notoire des populations vis-à-vis des ouvrages publics d'Hygiène et d'assainissement ;
- Le faible taux d'abonnement aux structures de pré-collectes ;
- L'installation des populations dans les zones marécageuses.

4.5- Lien entre qualité de l'eau et santé

D'après les entretiens avec le médecin coordonnateur et les focus group, les maladies liées à l'eau et à l'assainissement sont le reflet de la médiocrité du niveau d'assainissement du milieu et de l'insuffisance d'hygiène individuelle. Plus le cadre de vie est sale du fait de la mauvaise gestion des ordures ménagères, des déchets solides ménagers, des eaux usées, plus le risque de tomber malade est élevé. Ces faits sont confirmés par les travaux de terrain. Ainsi, sur les 533 acteurs interviewés, seulement 35,64 % (22,70 % de diarrhée et 12,9 % de Parasitose intestinale) ont déclaré avec certitude avoir connu de cas de maladies liés à la consommation de l'eau de puits, puisque les maux ont cessé lorsque la cause a été isolée ou que le puits a été traité ou abandonné. Ces cas se seraient manifestés par des maux de ventre et/ou de la diarrhée qui ont soit conduit les malades à l'hôpital soit traités à la maison à l'aide de la tisane. Pour beaucoup, compte tenu des conditions de vie précaires dans lesquelles ils se trouvent, ils n'arrivent souvent pas à connaître les causes réelles des maux dont ils souffrent ou dont souffrent leurs proches surtout les enfants. Le tableau XXI donne la répartition des cas déclarés.

Tableau XXI : Types de maladies hydriques

Acteurs	Maladies hydriques						Total
	Paludisme	Diarrhée	Dysenterie	Choléra	Parasitose intestinale	Autres maladies hydriques	
Ménages	88	59	55	0	27	4	233
Eleveurs	41	19	23	1	13	3	100
Agriculteurs	39	21	20	0	15	5	100
Pêcheurs	34	22	19	1	14	10	100
Total	**202**	**121**	**117**	**2**	**69**	**22**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi ; 2015-2016

L'analyse du tableau XXI montre que le paludisme est dominant (37,89 %), suivi de la diarrhée (22,70 %) et la dysenterie (21,95 %). En plus de ces maladies hydriques, les acteurs souffrent de la parasitose intestinale (12,94 %) et du choléra (0,37 %). Les autres maladies hydriques dont ignorent ces acteurs représentent 4,12 %. Ces déclarations sont en rapport avec les statistiques sanitaires recueillies à la zone sanitaire et au Ministère de la Santé Publique (MSP). La cartographie des maladies hydriques (Annexe XIII) apparait comme un outil important d'analyse spatiale et d'aide à la prise de décision. Elle permet d'assurer un meilleur suivi en vue de lutter efficacement pour l'éradication des épidémies. Les cartes des maladies hydriques de 2007 à 2016 de la Commune de Kandi, réalisées avec le concours des SIG qui sont, en réalité, la synthèse d'analyses spatiales donnent une information visuelle sur l'emplacement des zones sujettes à épidémies. Mais, l'occurrence des maladies hydriques récurrentes telles que la diarrhée, les affections gastro-intestinales et le paludisme sont respectivement représentées dans les figures 41, 43 et 45.

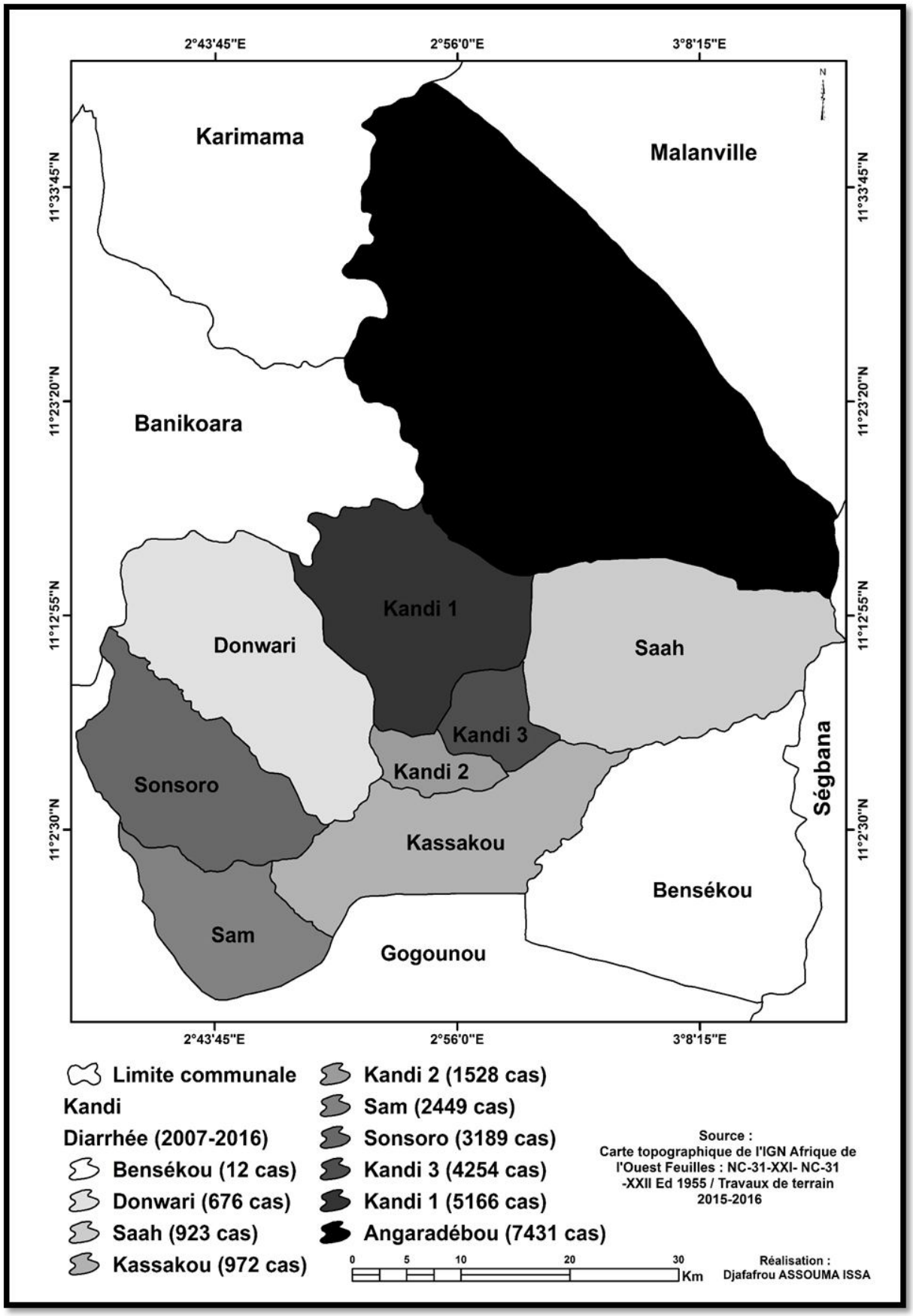

Figure 41 : Répartition spatiale de l'occurrence de la diarrhée de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain, 2016

Cette figure 41 montre que les maladies diarrhéiques sont fortement enregistrées dans les centres de santé des arrondissements d'Angaradébou (7431 cas), de Kandi 1 (5166 cas) et de Kandi 3 (4254 cas). Par contre elles sont faiblement notées dans les centres de santé des arrondissements de Bensékou (12 cas), de Donwari (676 cas), et de Saah (923 cas). Notons que les statistiques relevées au niveau du centre de santé de Bensékou n'ont pas été tenues à jour. Au total, dans la Commune de Kandi, 26 600 cas de maladies diarrhéiques soit 14,83 % de la population totale ont été touchées. Par rapport au recensement de 2012, il ressort que 24,67% de la population de l'arrondissement d'Angaradébou sont atteintes de cette maladie.
Le pourcentage par arrondissement de la population ayant contracté cette maladie entre 2007 et 2106 est représenté dans la figure 42.

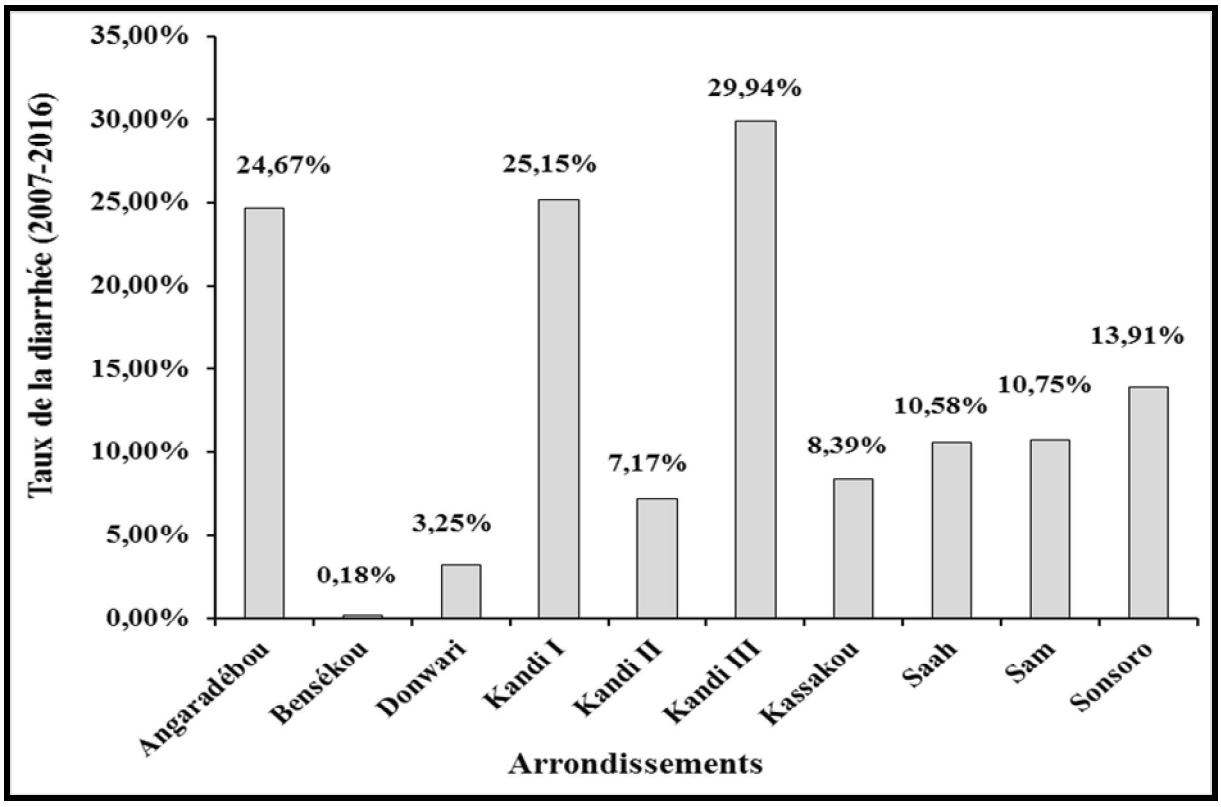

Figure 42 : Variation du taux des maladies diarrhéiques de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi**. Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain, 2016

Les arrondissements de Kandi 3 (29,94 %), de Kandi 2 (25,15 %) et d'Angaradébou (24,67 %) sont les plus vulnérables aux maladies diarrhéiques. Les bactéries / protozoaires / virus empruntent la voie fécale-orale par l'intermédiaire d'eau contaminée ou d'aliments. Les personnes atteintes de cette maladie font fréquemment des selles liquides. Les affections gastro-intestinales sévissent aussi dans la Commune. L'occurrence de cette maladie dans la Commune est présentée dans la figure 43.

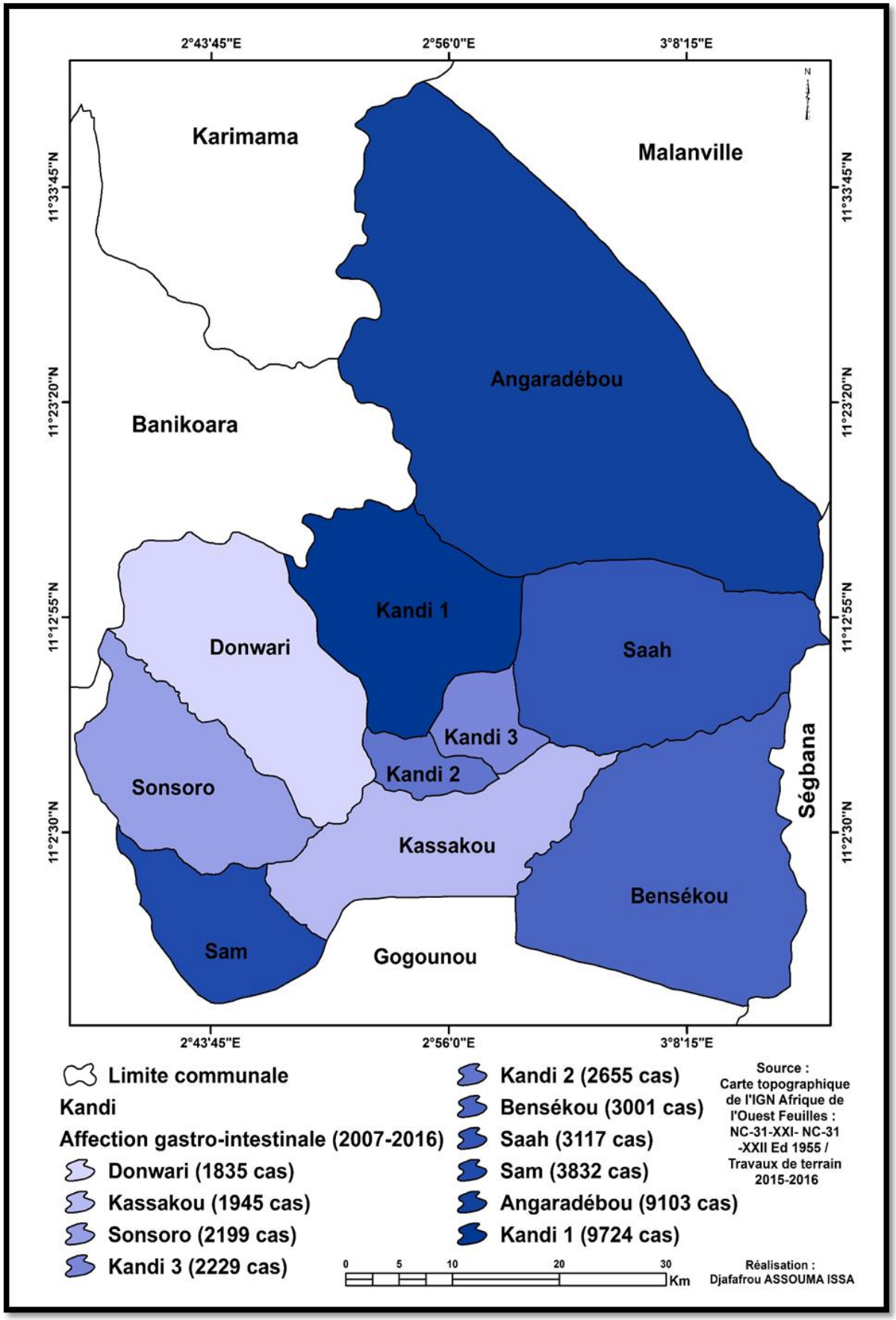

Figure 43 : Répartition spatiale de l'occurrence des affections gastro-intestinales de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016

Les affections gastro-intestinales sont faiblement enregistrées dans les centres de santé des arrondissements de Donwari (1835 cas), de Kassakou (1945 cas) et de Sonsoro (2199 cas). Par contre, elles sont fortement enregistrées dans les arrondissements de Kandi1 (9724 cas) d'Angaradébou (9103 cas), de Sam (3832). 39 640 cas soit 22,10 % de la population communale ont été victimes de cette affection. En ce qui concerne les arrondissements, le pourcentage des individus ayant contracté cette maladie est présenté dans la figure 44.

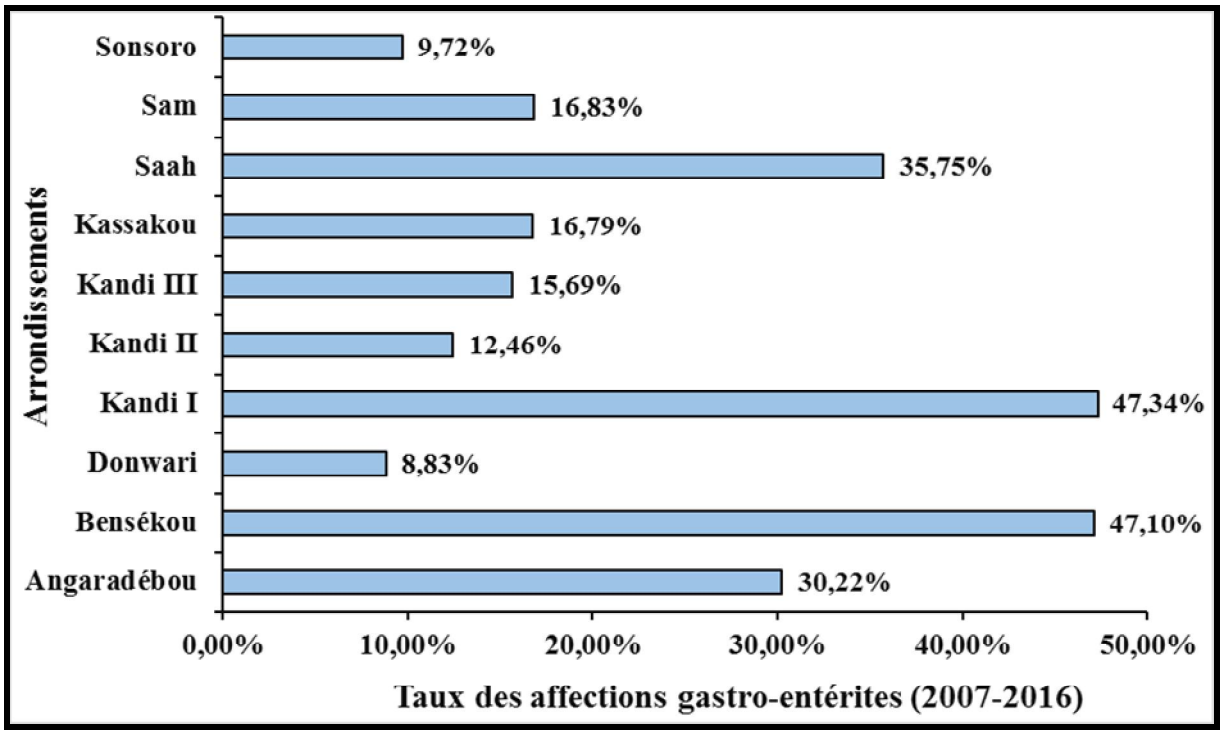

Figure 44 : Variation du taux des affections gastro-entérites de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016

L'analyse de cette figure 44 montre que les affections gastro-entérites sont très dominantes dans les arrondissements de Kandi 1 (47,34 %), de Bensékou (47,10 %), de Saah (35,75 %), et d'Angaradébou (30,22 %). Ces maladies sont causées par diverses bactéries / parasites / virus résidant dans l'eau souillée. Le système gastro-intestinal est atteint. Il existe plusieurs types d'affections gastro-intestinales. Ainsi, il y a le groupe des gastro-entérites à Escherichia Coli pathogènes, les yersinoises, les gastro-entérites à campylobacter, les cryptosporodium, les Giardiases. Le paludisme fait partie également des maladies hydriques les plus récurrentes dans la Commune de Kandi. Cette maladie est transmise par la femelle d'un moustique de la famille des anophèles d'un homme à l'autre. 295 193 cas de cette pathologie ont été notés entre 2007 et 2016. La variation spatiale de cette maladie est représentée dans la figure 45.

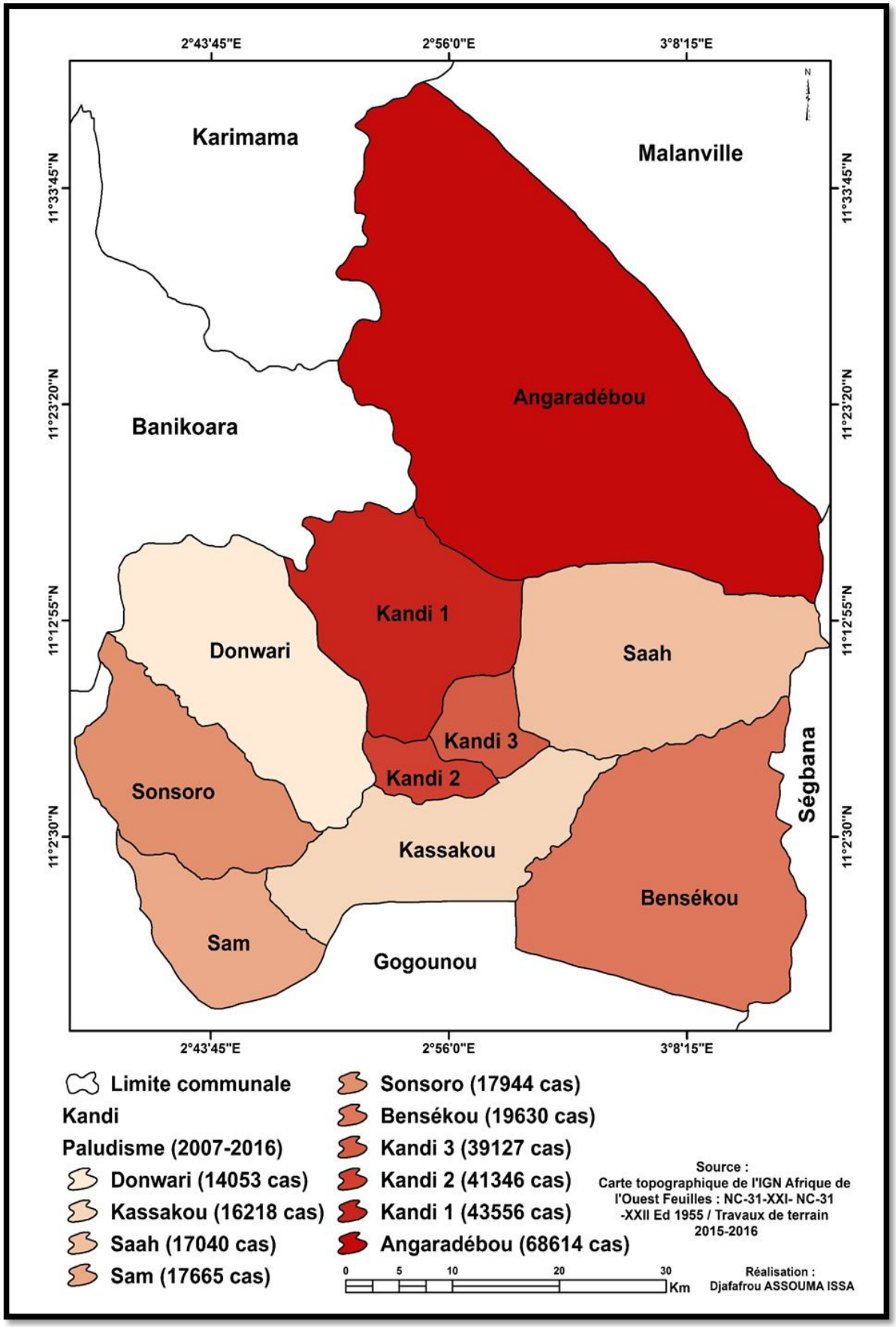

Figure 45 : Répartition spatiale de l'occurrence du paludisme de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016

L'analyse de cette figure 45 montre que le paludisme (295 193 cas) sévit constamment dans la Commune. 164,64 % de la population sont victimes de cette pathologie. Tous les arrondissements sont fortement atteints. Ainsi le nombre de cas de malades atteints par arrondissement est présenté dans la figure 46.

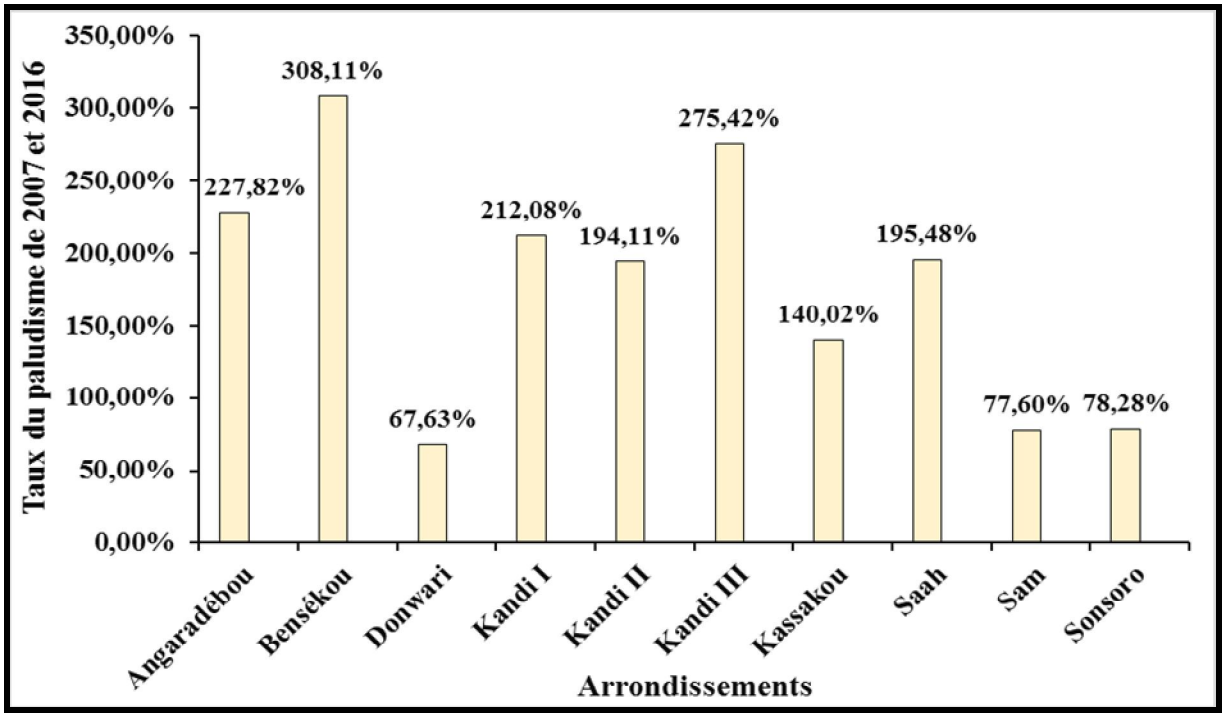

Figure 46 : Variation du taux du paludisme de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi.

Source : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016

Les arrondissements de Bensékou (308,11 %), de Kandi 3 (275,42 %) et d'Angaradébou (227,82 %) sont les plus vulnérables. Il existe quatre (4) différents types causés par les protozoaires. Ce sont : le plasmodium falciparum causant la malaria tropica ; le plasmodium vivax causant la malaria tertiana ; le plasmodium ovale qui ressemble à la malaria tertiana et le plasmodium malariae causant la malaria quartana. Un moustique piquant un homme sain après avoir piqué un homme infecté, lui transmet l'infection. Par la circulation sanguine, le plasmodium arrive au foie où il se multiplie pour la première fois. Pendant ce temps, le patient ne ressent pas encore de symptômes. Par la suite, le plasmodium se répartit dans le sang et rentre dans les globules rouges (érythrocytes). La lutte contre le paludisme est en priorité une démarche visant à éliminer les anophèles et donc à détruire leurs gîtes larvaires dans les écosystèmes aquatiques.

4.6- Influence des activités socio-économique sur les ressources en eau

Plusieurs activités sont menées autours des sources d'approvisionnement en eau. Il s'agit des activités de ménages (lessives, vaisselles), de l'élevage, de l'agriculture surtout le maraichage et de la pêche. Ces activités contribuent à la dégradation de ces sources et du coup la qualité de l'eau.

4.6.1- Activité exercées aux abords des sources d'eau

Les sources d'alimentation en eau connaissent une panoplie de pratiques (activités) utilisées par les acteurs locaux dans le but de subvenir à leurs besoins. Ces pratiques sont relatives aux multiples usages des sources d'alimentation en eau par les ménages, les agriculteurs, les éleveurs, les pêcheurs et autres acteurs agissant dans le secteur de l'eau. Les activités les plus pratiquées sont consignées dans le tableau XXII.

Tableau XXII : Activités exercées aux abords des sources d'eau

Acteurs	**Activités pratiquées aux abords des sources d'eau.**					**Total**
	Activités domestiques	Abreuvage des animaux	Agriculture	Pêche	Autres	
Ménages	0	147	71	10	5	233
Eleveurs	71	0	27	1	1	100
Agriculteurs	60	32	0	6	2	100
Pêcheurs	41	40	12	0	7	100
Total	**172**	**219**	**110**	**17**	**15**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016

L'analyse de ce tableau XXII montre que 32,27 % des activités menées aux abords des sources d'eau proviennent des ménages. 41,08 % constituent de l'abreuvage des animaux. 20,63 % sont liées aux pratiques agricoles. 3,18 % concernent la pêche et les autres activités occupent 2,81 %. L'abreuvage des animaux apparait prédominant aux abords des points d'eau. Pour les ménages rencontrés, ce sont les éleveurs et les agriculteurs qui occupent plus les points d'eau pour leurs activités. Ainsi, ces acteurs (éleveurs et agriculteurs) contribuent largement à la dégradation des points d'eau.

4.6.2- Impacts des activités sur les ressources en eau

Les activités pratiquées aux abords des points d'eau concourent à leur dégradation. Ainsi le tableau XXIII présente les impacts liés aux activités menées aux abords des points d'eau.

Tableau XXIII : Impacts des activités aux abords des points d'eau

Acteurs	**Impacts des activités sur la ressource eau.**			**Total**
	Pollution	Comblement	Autres (tarissement)	
Ménages	185	41	7	233
Eleveurs	67	26	7	100
Agriculteurs	74	26	0	100
Pêcheurs	64	31	5	100
Total	**390**	**124**	**19**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016

De l'analyse de ce tableau XXIII, il ressort que 73,17 % des activités menées au niveau des points d'eau concourent à la pollution de ces sources d'approvisionnement en eau. Ce qui montre que les règles élémentaires d'hygiène et d'assainissement aux alentours immédiats des sources d'alimentation en eau ne sont pas respectées. Par ailleurs, 23,26 % des activités observées au niveau des points d'eau visent au comblement de ces sources. Cette situation se remarque surtout au niveau des retenues d'eau, des puits traditionnels et certaines sources non aménagées (mares). Les autres activités (3,56 %) produisent des effets qui contribuent au tarissement des sources d'eau. En ce qui concerne les ménages rencontrés, 79,39 % des activités menées aux abords des sources d'approvisionnement en eau favorisent leur pollution. 17,59 % des activités conduisent au comblement de ces sources d'eau.

4.6.3- Relation entre usagers dans le secteur de l'approvisionnement en eau

L'utilisation de la même source d'eau crée souvent des relations au sein des usagers. Le tableau XXIV rend compte des relations qui lient les différents acteurs autour des points d'eau.

Tableau XXIV : Rapports avec les autres usagers

Acteurs	**Rapports avec les autres usagers.**			**Total**
	Normal	Méfiant	Conflictuel	
Ménages	154	71	8	233
Eleveurs	65	12	23	100
Agriculteurs	76	21	3	100
Pêcheurs	59	37	4	100
Total	**354**	**141**	**38**	**533**

Source : Travaux de terrain, Kandi ; 2015-2016

L'analyse de ce tableau XXIV montre que 66,41 % des acteurs rencontrés entretiennent d'excellente relation avec les autres usagers. 26,45 % sont très méfiants vis-à-vis des autres usagers de la ressource et 7,12 % ont des rapports conflictuels.

4.6.3.1- Conditions d'hygiène des éleveurs

La divagation des animaux autour des ouvrages d'approvisionnement en eau favorise la dégradation immédiate de ces sources. Selon les peulhs transhumants rencontrés sur le terrain, la pratique de certaines activités (lessive, vaisselle et lavage des engins), autour des points d'eau surtout au niveau des retenues d'eau et mares naturelles ne favorisent pas leur troupeau de s'abreuver convenablement. Ils estiment que les eaux issues de ces pratiques ménagères reviennent à la source et empêchent les troupeaux de bœufs de s'abreuver normalement à cause des odeurs du savon. Du coup, les animaux rebroussent chemin ce qui crée souvent des tensions au sein de ces différents acteurs d'eau. La photo 12 montre les activités exercées aux alentours et au sein de ces sources d'eau.



(w) **(x)**

Photo 12 : Activités domestiques et abreuvement des animaux au niveau des retenues d'eau à Nouri, arrondissement de Bensékou (Prise de vue, Assouma, février 2016). **Source** : Travaux de terrain, 2015 – 2016

(**w**) : Une femme entrain de recueillir de l'eau pour la lessive au bord de la source pendant la saison sèche. Les eaux usées ménagères issues de cette activité retournent à la source via par la pente et du coup contaminent davantage cette dernière et crée des dommages aux autres usagers (photo 12 w).

(**x**) : Cette photo 12(x) montre la présence d'un troupeau de bœuf dans une mare entrain de s'abreuver. Les animaux urinent et laissent leurs déchets à l'intérieur de la source et ses environs. On note également les femmes qui font la lessive aux abords.

Au cours des enquêtes de terrain, les transhumants ont notifié que leurs animaux n'arrivent plus à s'abreuver convenablement à cause de la qualité défectueuse de l'eau issue des activités ménagères. Cette situation est souvent à l'origine des conflits autour des points d'eau. Les types d'élevage rencontrés autour des points d'eau dans la Commune sont représentés dans la figure 47.

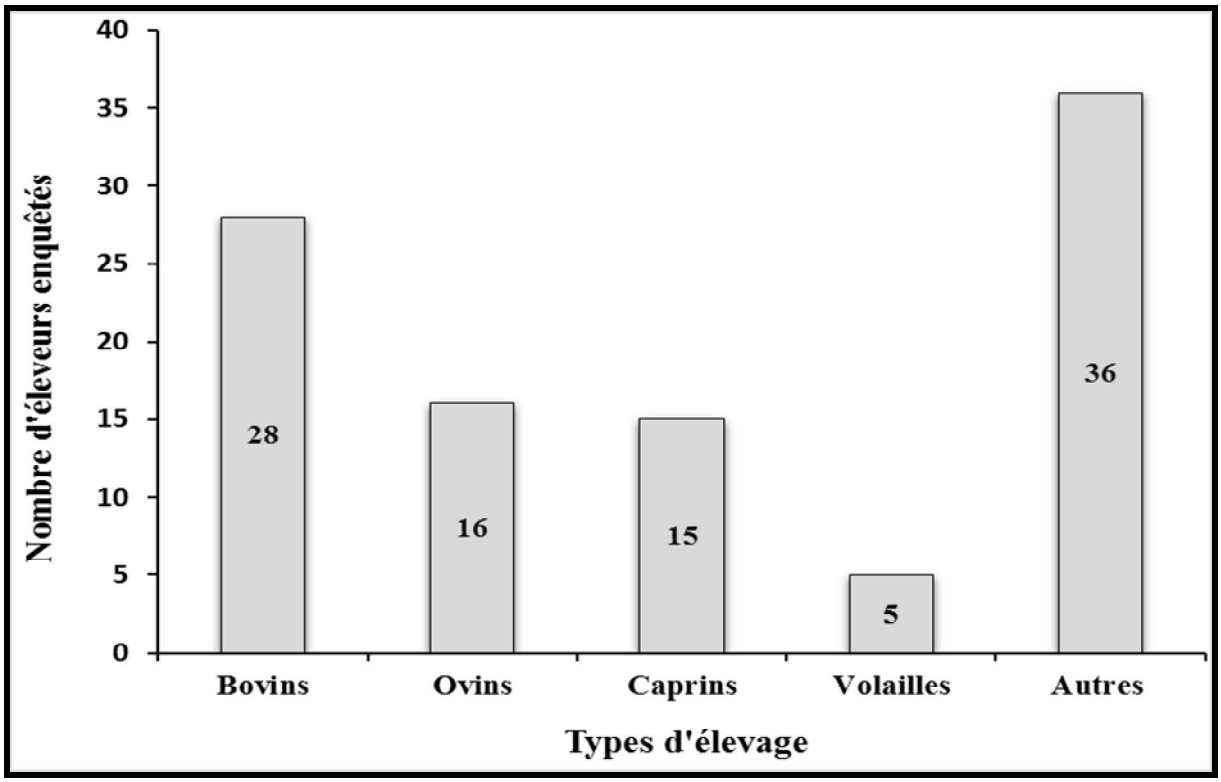

Figure 47 : Types d'élevage pratiqués dans la Commune de Kandi / **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

L'analyse de cette figure 47 montre que l'élevage des bovins (28 %), des ovins (16 %) et des caprins (15 %) sont dominants dans le milieu de recherche. Les points d'abreuvement sont constamment pris d'assauts par les éleveurs. Cette situation crée des désagréments au niveau de ces sources d'eau. Les déchets d'animaux sont déposés de manière incontrôlée autour des points d'eau.

4.6.3.2- Conditions d'hygiène des agriculteurs

Les différentes pratiques agricoles surtout l'agriculture intensive conduit les producteurs à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole. Il s'agit notamment des fertilisants (engrais minéraux de commerce ou déjections animales) et des pesticides (herbicides, fongicides, insecticides). L'utilisation de ces produits phytosanitaires dans la Commune de

Kandi ont permis d'améliorer les rendements agricoles. Ainsi selon les travaux de terrain, le coton (36 %) et le maïs (23 %) constituent les principales cultures (figure 48).

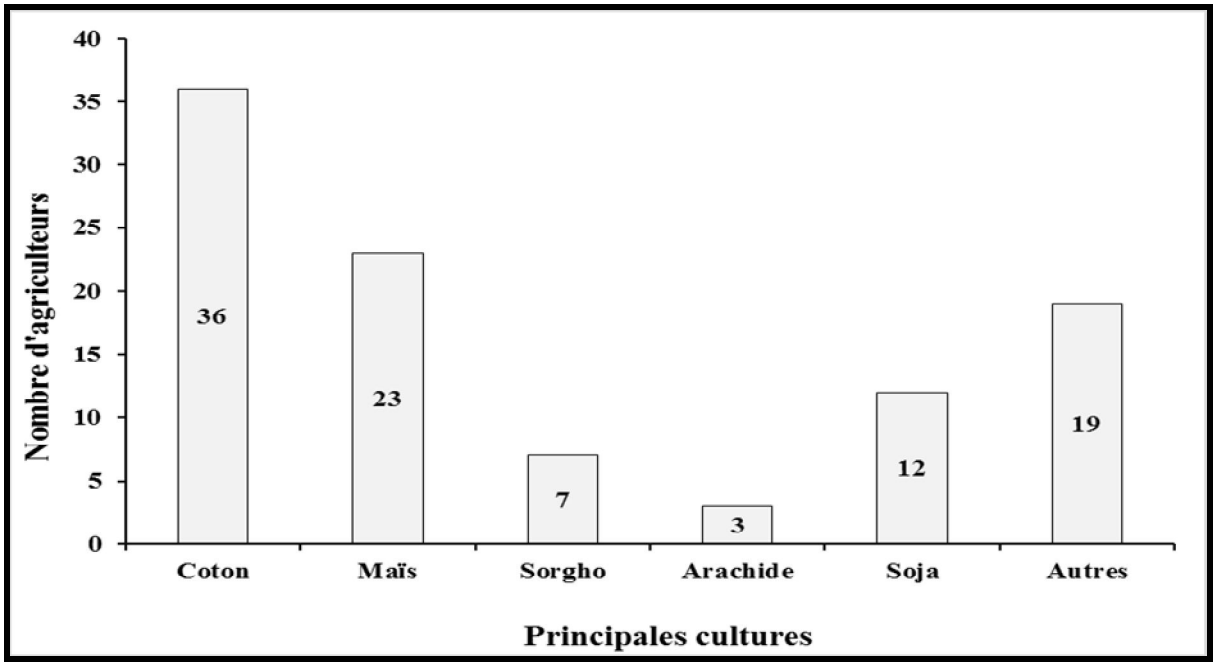

Figure 48 : Principales cultures pratiquées dans la Commune de Kandi / **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

La figure 48 présente les cultures pratiquées par les producteurs rencontrés dans le milieu de recherche. Le coton est cultivé par la majorité des enquêtés. Cette culture nécessite l'utilisation d'intrants agricoles afin d'assurer un meilleur rendement. Mais l'utilisation mal raisonnée de ces intrants notamment les pesticides conduit parfois à des problèmes de pollution des sols et par voie de conséquence des sources d'approvisionnement en eau. Les pesticides sont drainés préférentiellement vers les eaux de surface par ruissellement superficiel et / ou vers les eaux souterraines par infiltration. De nos jours, l'enjeu de réduire l'utilisation de ces produits dépasse la sphère agricole, en particulier pour les pesticides. Ainsi les avis sur l'utilisation des produits phytosanitaires par les agriculteurs sont représentés dans la figure 49.

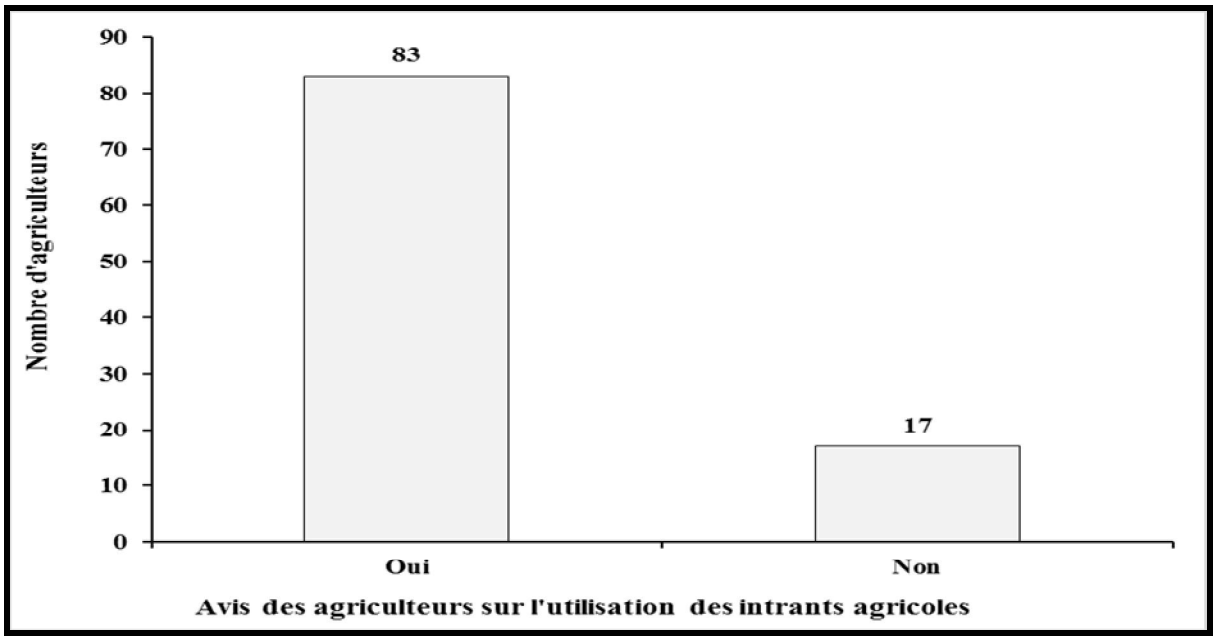

Figure 49 : Avis des agriculteurs sur l'utilisation des intrants agricoles. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

83 % des agriculteurs enquêtés utilisent les intrants agricoles dans la production. Les intrants jouent un rôle prépondérant dans la production.

4.6.3.3- Conditions d'hygiène des pêcheurs

Divers produits chimiques sont utilisés par les pêcheurs. Les perceptions de ces acteurs sont représentées dans la figure 50.

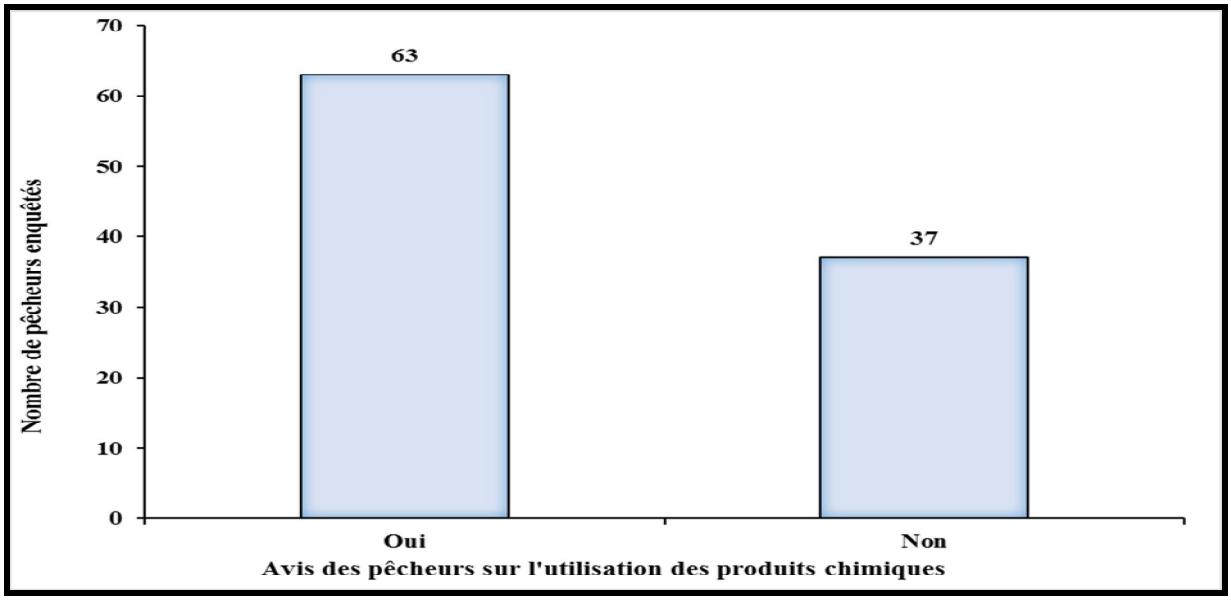

Figure 50 : Avis des pêcheurs sur l'utilisation des produits chimiques. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 50 montre que 63 % des pêcheurs rencontrés déversent les produits chimiques dans les retenues d'eau et mares. 37 % mènent leurs activités de pêche sans utiliser les produits chimiques. Ces produits chimiques contaminent les sources et pose un problème de santé publique.

4.7- Discussion sur les déterminants de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau

L'analyse de la vulnérabilité des sources d'alimentation en eau est basée sur la qualité physique, chimique et bactériologique des eaux de boisson et sur la gestion de ces sources d'approvisionnement en eau.

Dans le cadre de cette étude, 96,67 % des ouvrages d'eau prélevées présentent une température comprise entre 26 °C et 27 °C. Les résultats trouvés par Dégbey et *al*., (2008) à la suite de leurs travaux sur la qualité de l'eau de puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin corroborent avec nos observations sur le terrain. En effet, pour ces auteurs, 100 % des puits prélevés présentent une température comprise entre 28,3 °C et 29,9 °C avec une moyenne de 28,5 °C. Dans une étude similaire au Sénégal, Chippaux et *al.*, (2007) ont montré que la température de l'eau est constamment supérieure à 25 °C, notamment au niveau des robinets des canalisations. Ces résultats se rapprochent de ceux d'Assani (1995) à Grand-Popo, de Moukolo (1993) à Brazzaville et d'Aïssi (1992) à Cotonou qui ont retrouvé des températures variant entre 25 °C et 30 °C. Les valeurs comprises entre 23,5 et 31,9 °C avec une moyenne de 30,6 °C ont été retrouvées par Mickael et *al.*, (2010) à Cotonou et Mahamat et *al.*, (2015) au Tchad. Il convient de souligner qu'une eau de température située entre 25°C et 28°C constitue un milieu favorable à la culture des micro-organismes de l'environnement (Assani, 1995). Selon Galal- Gorchey (1992), l'élévation de la température des eaux en milieu tropical créerait des conditions favorables et augmenterait l'efficacité de la désinfection de l'eau par le chlore. Cette élévation peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (Assani, 1995 ; Comlanvi, 1994). Il peut également aggraver les problèmes de corrosion. Ce facteur organoleptique, bien que ne causant pas de risques sanitaires notoires à une certaine teneur devrait être bien considéré dans les analyses de l'eau destinée à la consommation (Diallo, 2008).

En ce qui concerne le pH, bien qu'il n'ait généralement pas de conséquence directe pour la santé du consommateur, il est l'un des paramètres opérationnels les plus importants pour la qualité de l'eau (Diallo, 2008). Dans les eaux naturelles, les valeurs du potentiel d'Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 (Diallo, 2008 ; Chapman et *al.*, 1996). 40,33 % des ouvrages

hydrauliques étudiés dans la Commune de Kandi présentent une valeur de pH inférieure ou égale à 6,5. Ce qui signifie que l'eau de ces sources d'eau a un caractère très acide et peut provoquer une corrosion des tuyauteries métalliques. Toutefois, la valeur moyenne de pH (6,48) obtenue dans cette étude est plus ou moins conforme à l'intervalle de pH recommandé par les normes béninoises et les Directives OMS. Nos résultats corroborent avec ceux de Mahamat et *al.,* (2015) au Tchad, de Mickael et *al.,* (2010) au Bénin et sont supérieurs à ceux de Lagnika et *al.,* (2014) au Bénin qui ont trouvé respectivement les moyennes de 7,25 et 6,84 au Tchad ; 6,53 et 5,83 au Bénin respectivement pour les eaux brute et pour les eaux traitées au Tchad, dans les eaux de la nappe phréatique de Cotonou et dans l'eau des puits de la Commune de Pobé au Bénin. Lorsque le pH >8 ce qui n'est le cas dans cette étude, il y a risque d'une diminution de l'efficacité du processus de désinfection au chlore et peut conduire à des dépôts incrustants dans les circuits de distribution (Clégbaza, 2000). Pour les ouvrages d'eau étudiés qui ne respectent pas les normes en matière de pH dans la Commune de Kandi, il est possible de corriger leur potentiel hydrogène. Pour ce faire, il suffit selon les techniciens de la SONEB, d'introduire dans ces ouvrages hydrauliques de l'alkolid, un produit chimique qui permet de régulariser le pH de l'eau (Dovonou, 2001).

L'analyse chimique des échantillons d'eau prélevés dans notre étude révèle la présence d'éléments polluants comme les nitrates, les nitrites et l'ammonium. En effet, 3,33 % et 23,33 % des eaux des sources d'eau prélevées et analysées présentent un taux de nitrite et de nitrate supérieur respectivement à 3,2 mg/L et 50 mg/L ; tandis que 10 % ont un taux d'ammonium supérieur à 0,5 mg/L, norme recommandée par l'OMS. La présence de ces éléments traduit la pollution chimique, indicateur de pollution azotée. Cette situation pourrait s'expliquer par le niveau de l'assainissement et de l'hygiène dans la Commune de Kandi. Les résultats obtenus à l'issue de l'analyse de ces échantillons d'eau prélevés dans notre secteur d'étude sont conformes aux conclusions de Assouma (2011) dans la Commune de Kandi, de Nguimal et *al.,* (2005) dans la ville de Bangui et d'Assani (1995) dans la Commune de Grand-Popo. En effet, pour Nguimal et *al.,* (2005), l'analyse physico-chimique de la qualité de l'eau du réseau à Bangui met en évidence des effets indésirables liés à l'altération de la qualité de l'eau traitée et distribuée après un temps de résidence variable. Ils ont montré que le goût, l'odeur et la couleur de l'eau potable, qui sont des critères permettant d'apprécier la bonne qualité de l'eau, deviennent avec le temps des variables indicatrices de la dégradation de la qualité de l'eau traitée. Dans le même ordre d'idée, Benouis et *al.,* (2008) ont montré que la teneur en nitrate de certaines eaux échantillonnées dans la ville de Sidi-Bel-Abbès en Algérie dépassait la norme préconisée (50 mg/L) par l'OMS. La teneur en nitrate retrouvée dans ces eaux varie

entre 17,5 et 68 mg/L. Les teneurs en nitrate notées dans les eaux étudiées de notre secteur d'étude diffèrent d'un aquifère à l'autre. Cette variabilité spatiale des teneurs en nitrate des eaux traduit également une diversité dans leur origine (Ahoussi et *al.,* 2013). Les nitrates sont souvent issus des activités agricoles (utilisation des produits phytosanitaires et les pratiques de l'élevage) et industrielles (rejets des effluents industriels). Ils peuvent avoir une origine urbaine liée à une infiltration des eaux usées domestiques dans le sol, des eaux des égouts, des fosses septiques, des latrines et de la décomposition de la matière organique. Ils peuvent aussi provenir de la décomposition de la matière organique (déforestation) (Ahoussi et *al.,* 2013). Nos résultats corroborent avec ceux de Ahoussi et *al.,* (2013) à Abidjan et de Oga (1998) dans les quartiers du Plateau et d'Adjamè. Pour Oga (1998), les valeurs élevées en nitrate notée au Plateau et à Adjamé seraient liées au degré d'urbanisation. Les ordures ménagères contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines de la ville. En effet, ces matières organiques se décomposent en nitrate et s'infiltrent dans le sol pour se retrouver plus tard dans les eaux souterraines. Dans notre secteur d'étude, les mêmes constats sont observés. Ainsi, la mauvaise gestion des tas d'immondice et des excréta contribuent à la dégradation de la qualité des sources d'approvisionnement en eau. Les valeurs excessives en nitrite rencontrées traduisent une contamination superficielle issue des eaux usées, des eaux de ruissellement, des fosses septiques, des latrines et des effluents industriels notés dans la Commune de Kandi. Dans le cycle de l'azote, les nitrites s'insèrent entre les nitrates et l'ammonium. Les nitrites sont très solubles et par conséquent très peu présents dans les eaux souterraines, sauf en cas de pollution (Ahoussi et *al.,* 2013). Les nitrites constituent des indicateurs clés de contamination organique des eaux. L'ammonium contenu dans les échantillons d'eau est issu d'une contamination d'origine superficielle. Les fortes valeurs enregistrées de l'ammonium dans le secteur d'étude seraient dues notamment aux activités anthropiques et industrielles, à la présence des fosses septiques, des immondices et des déchets animaux. Le stockage de déchets animaux, des eaux usées situées entre 3 et 6 mètres de profondeur et du fumier à la surface du sol contenaient de l'ammoniac dans une fourchette de 1 à 15 mg/L (Liebhart et *al.,* 1979). Néanmoins, les valeurs élevées obtenues dans le secteur d'étude ne s'avéreraient pas toxiques pour les consommateurs car les ions ammonium sont naturellement produits dans le tractus digestif de l'homme par la dégradation bactérienne des composés azotés ingérés. Environ 4200 mg/j sont ainsi produits et plus de 70 % sont synthétisés ou libérés par le colon et dans les selles (Mahamat et *al.,* 2015). La quantité absorbée est de 4 150 mg/j soit 99 % de la quantité produite (Summerskill et Wolpert, 1970). L'ammoniac est métabolisé lors du

premier passage hépatique en urée et glutamine (Mahamat et *al.,* 2015). Les ions ammonium sont absorbés par le tractus gastro-intestinal puis transportés via le système veine porte directement dans le foie où ils sont métabolisés (Mahamat et *al.,* 2015). Par cette voie, une quantité très faible gagne la circulation systémique sous forme d'ammoniac ou de dérivés de l'ammonium (Pitts, 1971 ; Summerskill et Wolpert, 1970 ; Salvatore et *al.,* 1963 ; Brown et *al.*, 1957).

L'analyse bactériologique des échantillons d'eau a révélé la présence de diverses bactéries pathogènes. En effet, 66,66 % des ouvrages d'eau contiennent des coliformes totaux et 26,66% renferment des Escherichia Coli. Plusieurs facteurs pourraient expliquer cette pollution bactériologique.

Premièrement, les facteurs liés à l'assainissement du milieu et aux comportements des usagers du fait de l'absence d'un système de collecte de traitement et d'évacuation des ordures ménagères, des eaux usées domestiques, des effluents liquides des usines, et la défécation à l'air libre dans la Commune de Kandi.

Deuxièmement, les facteurs liés au mode de gestion des ouvrages d'eau. Les eaux fortement polluées par les entérobactéries pathogènes sont les principales sources probables des maladies telles que le choléra, la diarrhée, la fièvre typhoïde et certains gastro-entériques observés dans la population surtout pendant la saison pluvieuse.

Les résultats des enquêtes confirment les analyses bactériologiques. Ces résultats d'analyse bactériologique obtenus se rapprochent de ceux des auteurs Degbey, et *al., (*2008) ; Chippaux et *al.,* (2007) ; Saab et *al.,* (2007) ; Assani (1995) ; Comlanvi (1994) ; Kiki (1993) ; Aissi (1992) ; Charlet et *al.,* (1985) qui ont retrouvé des taux de coliformes totaux élevés dépassant largement 150 colonies par 100 ml. Beaucoup d'auteurs en Afrique ont eux aussi évoqué les mêmes constats. Ainsi, Bissonet (1992) dans une étude réalisée dans quelques villages de Côte d'Ivoire, est parvenu à la conclusion que 20 à 40 % des ouvrages hydrauliques modernes font l'objet de pollution biologique. Par ailleurs, même si l'eau est potable à la pompe, elle est polluée au cours du transport et du stockage (Assani, 1995). Ces idées rejoignent celles de Jagals et *al,. (*2004) ; de Molbak. et *al.,* (1989) et de Charlet et *al.,* (1985). En effet, pour Charlet et *al.,* (1985) dans leurs études en zone rurale ivoirienne ont fait ressortir l'évolution de la qualité de l'eau entre la pompe et les récipients à domicile. Il a été montré que si l'eau est potable à la source, elle est contaminée au cours de son transport et stockage. Jagals et *al,. (*2004) met plus l'accent sur les comportements de la communauté en matière de stockage et manipulation de l'eau de boisson. Ils estiment que les mauvaises pratiques liées aux comportements et à la manipulation de l'eau conduisent à la détérioration de la qualité

microbiologique de celle-ci dans les récipients du ménage. En définitive, il existe un lien étroit entre le niveau d'hygiène et la qualité de l'eau de boisson dans le ménage. Molbak. et *al.,* (1989) ont trouvé que le degré de contamination de l'eau par des bactéries ayant pour origine les matières fécales humaines ou animales était influencé par la conservation de grandes quantités d'eau dans les ménages. Dans une autre étude menée en milieu urbain (*Hyderabad*) en Inde, Jayasheel et *al,. (*2009)**,** ont observé une augmentation spectaculaire de la contamination de l'eau de boisson stockée dans les ménages. Suite à leur étude sur : *Perceptions of water, sanitation and health: a case study from the Mekong Delta, Vietnam*‖, Herbst et *al., (*2009) trouvent que les communautés évaluent la qualité de l'eau de boisson en fonction de la contamination visible (43 %), de la turbidité (18 %), de l'odeur (18 %) et d'autres facteurs (20 %). Le lavage des mains est considéré comme indispensable par 90 % des répondants et pratiqué par 40 % avant de préparer la nourriture, 43 % avant de manger et 51 % après la défécation. Elles évaluent l'eau de rivière comme la source la plus dangereuse à l'origine des maladies hydriques (81 %). Par contre, la moitié des répondants ne sont pas conscients de l'importance du lavage des mains comme une mesure préventive contre les maladies diarrhéiques. Ainsi, ils aboutissent à la conclusion que les populations ont une connaissance de base des comportements d'hygiènes appropriées mais elles méconnaissent encore les relations de cause à effet entre l'hygiène, l'assainissement et les maladies diarrhéiques. Les mêmes constats sont faits par Assouma (2004) dans ces travaux sur l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la Commune de Kandi au nord-est du Bénin. Cette étude est parvenue aux conclusions que le manque d'hygiène et d'assainissement autour des points d'eau et la mauvaise gestion des ordures pourraient être les sources probables de contamination voire de pollution bactériologique de ces eaux qui malheureusement sont consommées par les populations. Dans la même optique, Bio (2015) dans ses travaux portant sur l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable et assainissement dans le bassin cotonnier de la Commune de Banikoara a montré l'état d'insalubrité dans lesquels végètent les ouvrages hydrauliques. Les résultats des analyses physico-chimique et bactériologique réalisés au laboratoire ont notifié une pollution organique (nitrite, nitrate et ammonium) et bactériologique (Coliformes totaux et Eschéchria Coli) dans les ouvrages d'eau. Ces analyses traduisent les risques actuels ou potentiels auxquels les communautés de Banikoara sont exposées. Cette situation pourrait s'expliquer par un faible niveau d'assainissement et le manque d'hygiène autour de ces points d'eau. Plusieurs auteurs Babadjidé et *al.,* (2013) ; Assani (1995) ; Comlanvi (1994) ; Kiki (1993) ; Aïssi (1992) et Houndji et *al.,* (1992) au Bénin ont abordé le même sens que Bio (2015) et ont

conclu que les conditions d'hygiène et d'assainissement précaires observées dans les périmètres des sources d'approvisionnement en eau et la mauvaise gestion des ordures contribuent en partie à la dégradation de la qualité de ces points d'eau. Ainsi, Babadjide et *al.,* (2013) à partir de leurs études sur la qualité des eaux consommées par les populations et les maladies hydriques dans la Commune de Kétou au Bénin, ont montré que la pluie, les rivières, les puits, les retenues d'eau et les forages constituent les sources d'approvisionnement en eau des populations. Ces travaux ont aboutis à la conclusion que les eaux consommées par les communautés sont polluées par des substances organiques. La présence de ces substances est due à une pollution organique probablement issue des déchets d'origine animale, humaine ou par les effluents chargés de fertilisants et de pesticides. Assani (1995), abordant la problématique de la qualité et du mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo, est arrivé à la conclusion que tous les échantillons d'eau prélevés sont pollués du point de vue physico-chimique et bactériologique. Cette pollution serait liée en partie à l'état d'insalubrité de l'environnement et aux comportements peu orthodoxes des usagers des puits. L'absence d'un système de collecte, d'évacuation et de traitement des eaux usées des ordures ménagères favorise et accentue la pollution. Aussi la défécation à ciel ouvert, l'infiltration des détritus organiques dans le sol et la faible profondeur de la nappe sont-elles autant de facteurs qui exacerbent les niveaux de pollution dans cette localité. Comlanvi (1994) dans son étude sur l'amélioration de la qualité de l'eau de puits à Cotonou a révélé que la quasi-totalité des eaux de puits prélevées est polluée. Cette pollution serait due essentiellement à la nature sablonneuse du sol et à l'insuffisance d'un système d'assainissement adéquat. Kiki (1993) à Cotonou sur la problématique de la gestion des déchets dans les mégalopoles africaines, a abouti à la conclusion que la mauvaise gestion des déchets est l'un des facteurs influençant la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. En effet la quasi-totalité des eaux des puits prélevées étaient chimiquement et bactériologiquement contaminées. Aïssi (1992) abordant l'étude de l'impact des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou, est arrivée à la conclusion selon laquelle les eaux de puits sont contaminées du fait de la mauvaise gestion des déchets solides et liquides provenant des activités humaines. Houndji et *al.,* (1992) dans leurs travaux sur les eaux souterraines, la pollution des puits artisanaux et modernes du cordon littoral à l'est du chenal de Cotonou, sont parvenus à la conclusion que la nappe phréatique du cordon littoral est affectée par l'intrusion saline venant de la mer et par les actions humaines dans la zone. Les populations riveraines ne respectent pas les distances normatives entre les puits et les fosses septiques. Les mauvaises conditions d'entretien des sources d'eau entrainent

systématiquement leur contamination par les agents pathogènes et engendrent des problèmes de santé publique au niveau des populations locales. Ainsi, suite à une observation des motifs de consultations des patients dans les centres de santé de Nouakchott, une étude réalisée par Guene (2003) a relevé que certaines pathologies (diarrhées, la dysenterie, les parasitoses et les affections cutanées) liées à l'eau et l'assainissement sont fréquentes. L'auteur est parvenu à la conclusion que toutes ces maladies sont liées aux mauvaises conditions d'hygiène autour des sources d'approvisionnement en eau et assainissement du milieu. Dans le même registre, les travaux réalisés dans les quartiers défavorisés de la ville de Nouakchott par Sy et *al.,* (2011), ont révélé les principaux problèmes de santé ressentis par les populations. Il s'agit entre autre des syndromes du paludisme, de l'appareil respiratoire et ceux de l'appareil digestif. Ils ont mis en évidence la prévalence des maladies les plus récurrentes dont les infections respiratoires aiguës (28,0 %) et les diarrhées (17,2 %) ainsi que les facteurs environnementaux d'exposition aux risques sanitaires. Dossa (2002) à Cotonou sur l'analyse et l'esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue, a abouti à la conclusion que les eaux de la nappe phréatique sont menacées par une pollution due aux rejets domestiques et industriels ; une pollution organique chimique et une pollution bactériologique résultant de l'infiltration par les eaux vannes et de la quasi-inexistence d'ouvrage d'assainissement dans les localités échantillonnées. Smida et *al.,* (2010) ont utilisé le SIG pour déterminer la vulnérabilité dans les régions affectées par la pollution de nature anthropique et qui est un élément très important pour la gestion des ressources en eau au Sud de Sfax en Tunisie.

Conclusion partielle

La démarche adoptée a permis de mener des analyses spatiales en vue d'appréhender la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau. Ainsi, les prélèvements d'échantillons d'eau au niveau des infrastructures hydrauliques ont permis de réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques au laboratoire central de la Direction Régionale de l'Hydraulique à Parakou. Les résultats issus des analyses au laboratoire ont permis grâce aux outils SIG d'établir les cartes de distribution spatiales de ces éléments physico-chimiques et bactériologiques. L'occurrence des maladies hydriques a été cartographiée. Enfin, des entretiens avec les personnes ressources et les focus group organisés avec les différents acteurs de l'eau ont permis d'appréhender les déterminants de pollution et de dégager les Forces, les Faiblesses, les Opportunités et les Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et de l'assainissement de base. Cette étude suggère de tenir compte de l'avis des

communautés bénéficiaires dans la réalisation des Projets d'hydrauliques et de sensibiliser les usagers des points d'eau à adopter des comportements citoyens en vue de préserver l'environnement autour des ouvrages d'eau. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau réalisées au laboratoire central de la direction de l'hydraulique à Parakou ont révélé la présence massive des éléments chimiques tels que les nitrates, les nitrites et l'ammonium (indicateurs de pollution chimique) ; des E. Coli et des coliformes totaux (indicateurs de pollution fécale). Les conditions d'hygiènes et d'assainissement autour des sources d'approvisionnement en eau contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau par le phénomène de ruissellement et d'infiltration. Eu égard à tout ce qui précède, l'hypothèse selon laquelle : *'' L'existence de plusieurs foyers de pollution favorise la dégradation des sources d'alimentation en eau des populations''* est confirmée.

Chapitre 5 : Identification des zones favorables à l'implantation de forage

L'identification des eaux souterraines permet une meilleure connaissance de la couverture spatiale de la productivité des aquifères. La délimitation de la surface géographique dans l'optique de mieux orienter l'implantation des ouvrages s'exprime par une préparation de base de données c'est-à-dire des couches d'informations compilées capables de servir à la prise de décision. Les études d'application de la télédétection apparaissent comme un outil efficace de prospection pouvant contribuer de façon significative aux projets géologiques. Ce potentiel apport de la télédétection s'exprime d'avantage quand le Système d'Information Géographique (SIG) s'y associe offrant une quantité impressionnante de données, d'analyse et d'informations disponibles en temps réel et sur un territoire relativement vaste (Oussou, 2015). Une approche de combinaison de plusieurs données et techniques d'analyse s'avèrent nécessaire quand il s'agit d'apprécier un phénomène à envergure spatiale. Suite à la compilation de données satellitaires et de terrain, les analyses SIG tels que l'analyse de surface, de superposition, de proximité, l'analyse multicritère de décision et autres enrichissent les bases de données existantes et répondent facilement aux divers problèmes en particulier quand il s'agit d'une prospection des réservoirs souterrains. La détermination des zones favorables pour implanter les infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi a été opérée à partir du potentiel en eau souterraine et du potentiel hydraulique des forages d'exploitation.

5.1- Analyse du potentiel en eau souterraine

Plusieurs paramètres contribuent à l'analyse du potentiel en eau souterraine. Parmi ces critères, se trouvent : la densité de linéament, l'épaisseur d'altérite, la lithologie, la densité de drainage, la pluviométrie et la topographie.

5.1.1- Densité de linéaments

Les filtres directionnels sont utilisés pour rehausser les caractéristiques linéaires des deux images Landsat OLI / TIRS. Cette technique de filtrage a permis d'identifier les linéaments. Le nombre de linéaments identifiés avoisine 4083 linéaments avec une longueur oscillant entre 9,64 m et 2,53 Km toute direction confondue (figure 51). La longueur moyenne est de 808,75 m et l'écart type de 323,7 m. Par ailleurs, 79,94 % des linéaments est inférieur à 1 Km et 0,93 % supérieur à 2 Km. L'indice de voisin le plus proche est de 0,537 ce qui indique que les linéaments sont agrégés. Le score z (-153,09) et la valeur p (inférieure à 0,01), démontrent que dans la Commune de Kandi, l'agrégation est statistiquement significative jusqu'à un seuil

de confiance de 99 % ; ce qui donne la preuve que la distribution des linéaments n'est pas aléatoire mais représente plutôt le résultat des actions géologiques (accidents tectoniques), climatiques (amplitude thermique, ruissellement) et anthropiques. Les linéaments identifiés sont issus des contacts géologiques, des fractures et du réseau hydrographique. La répartition des linéaments identifiés par zone dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 51.

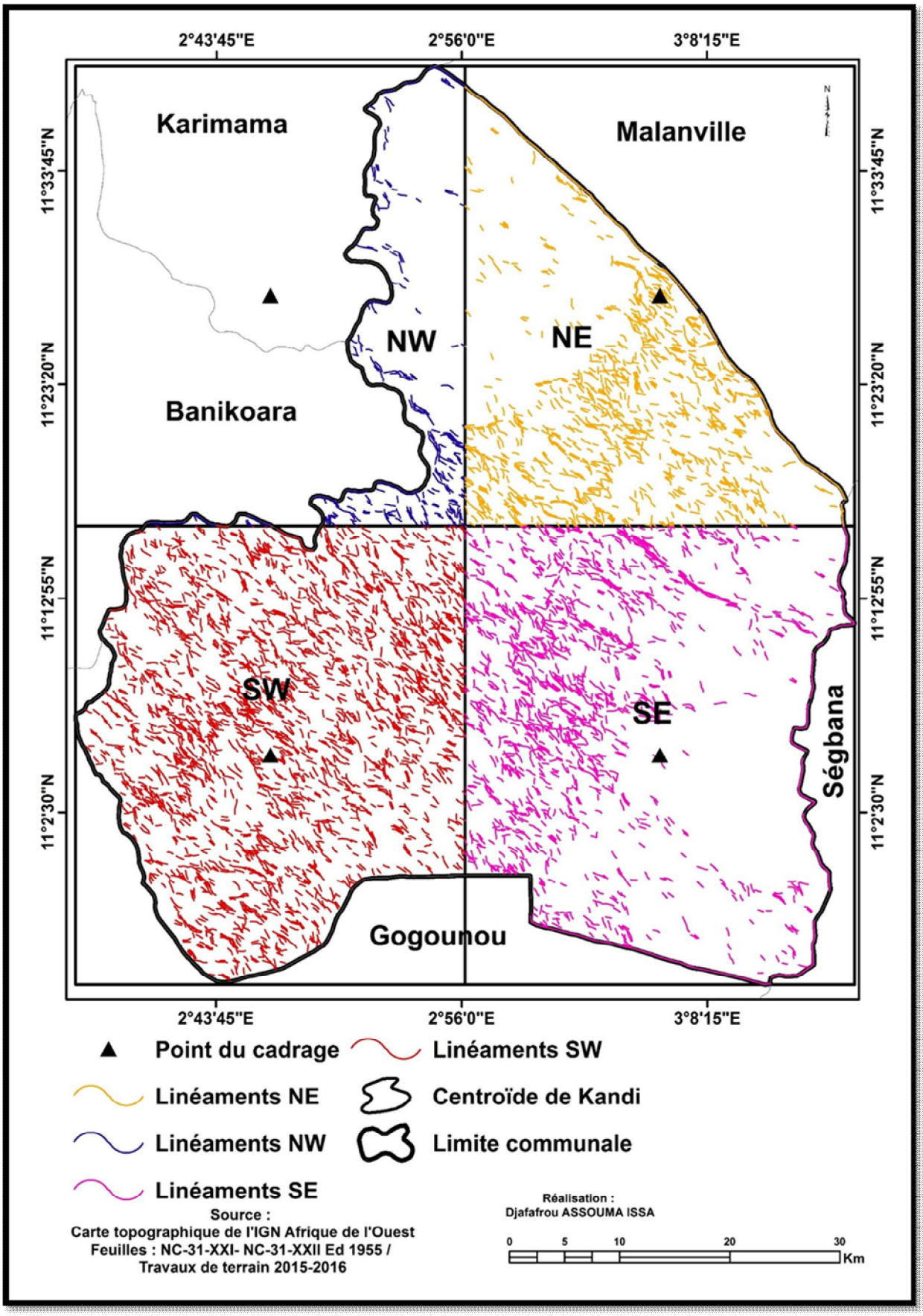

Figure 51 : Répartition des linéaments identifiés par zone dans la Commune de Kandi.

Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 51 présente la répartition des linéaments identifiés par zone dans la Commune de Kandi. L'analyse de cette figure montre une nette dominance des linéaments au sud-ouest (SW : 1948 segments). La répartition au niveau des autres zones se présente comme suit : le sud-est (SE : 1136 segments), le nord-est (NE : 802 segments) et le nord-ouest (NW : 197 segments). Les zones de forte concentration en linéaments sont localisées dans les arrondissements de Sonsoro, de Donwari, d'Angaradébou et les arrondissements urbains (Kandi 1, Kandi 2 et Kandi 3). Les linéaments (unités structurales) résultent des actions tectoniques et indiquent les sites potentiels de réserves d'eau, car ils caractérisent la géométrie des unités de roche du substratum et le niveau de déformation de ces affleurements rocheux. La répartition spatiale de la densité des linéaments est présentée dans la figure 52.

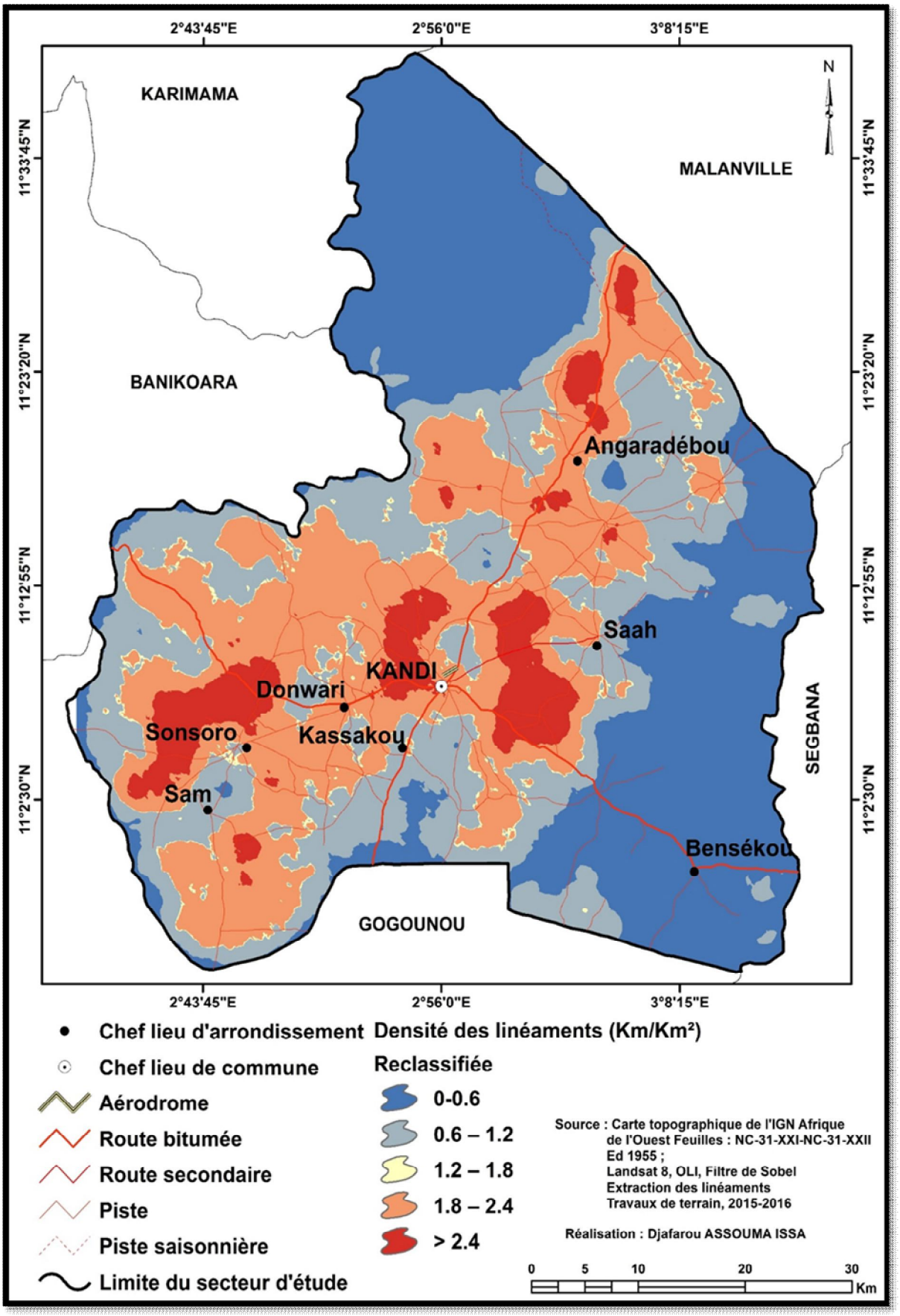

Figure 52 : Densité de linéaments reclassifiée dans la Commune de Kandi. **Source** : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

La figure 52 présente la densité des linéaments. Cette densité varie entre 1m et 1,3 Km/Km^2 avec une moyenne 1,15 m/Km^2 de longueur. Les localités telles que Woyonkou, Bénè et Sassabaga dans l'arrondissement de Sonsoro, Yaoudarou dans l'arrondissement de Sam, Kongou, Dodopanè, Ganssosso, Sonkparè dans l'arrondissement de Kandi 1, Alafiarou, Podo et Banikani dans l'arrondissement de Saah, Thui, Thia, Alfakoara dans l'arrondissement d'Angaradébou affichent de forte densité linéamentaire indiquant jusqu'à quel niveau principalement les roches (gneiss et migmatites) sont affectées par les accidents géologiques (tectoniques). Par contre, les faibles densités de linéaments, sont notées dans l'arrondissement de Bensékou et environs, l'emprise des cours d'eau et la zone cynégétique de la Djona. Les linéaments les plus productifs en eau souterraine sont localisés dans l'arrondissement de Sam, de Sonsoro et de Donwari du fait de la pluviométrie importante, ce qui facilite la communication entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines. Plus on monte au nord vers l'arrondissement d'Angaradébou, moins la rétention en eau du sol est élevée. Malgré l'importance des linéaments dans cet arrondissement et environs, c'est une zone très peu propice aux eaux souterraines du fait de la rétention en eau faible, et des hauteurs de pluies journalières les moindres.

5.1.2- Epaisseur d'altérite (recouvrement)

Une *''altérite''* est une formation géologique (généralement meuble) superficielle, formée *in situ*, résultant de l'altération physico-chimique de roches antérieures sans transformations pédologiques notables (Oussou, 2015). L'épaisseur de la couche d'altérite recouvrant le socle fracturé oscille entre 9 m dans les arrondissements de Sam, de Sonsoro, de Kandi 1 au sud-ouest et d'Angaradébou au nord et 13 m avec une moyenne spatiale de 12,93 m et un écart type de 2,25 m attribuable surtout à la partie du socle fracturé. La spatialisation de l'épaisseur d'altérite dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 53.

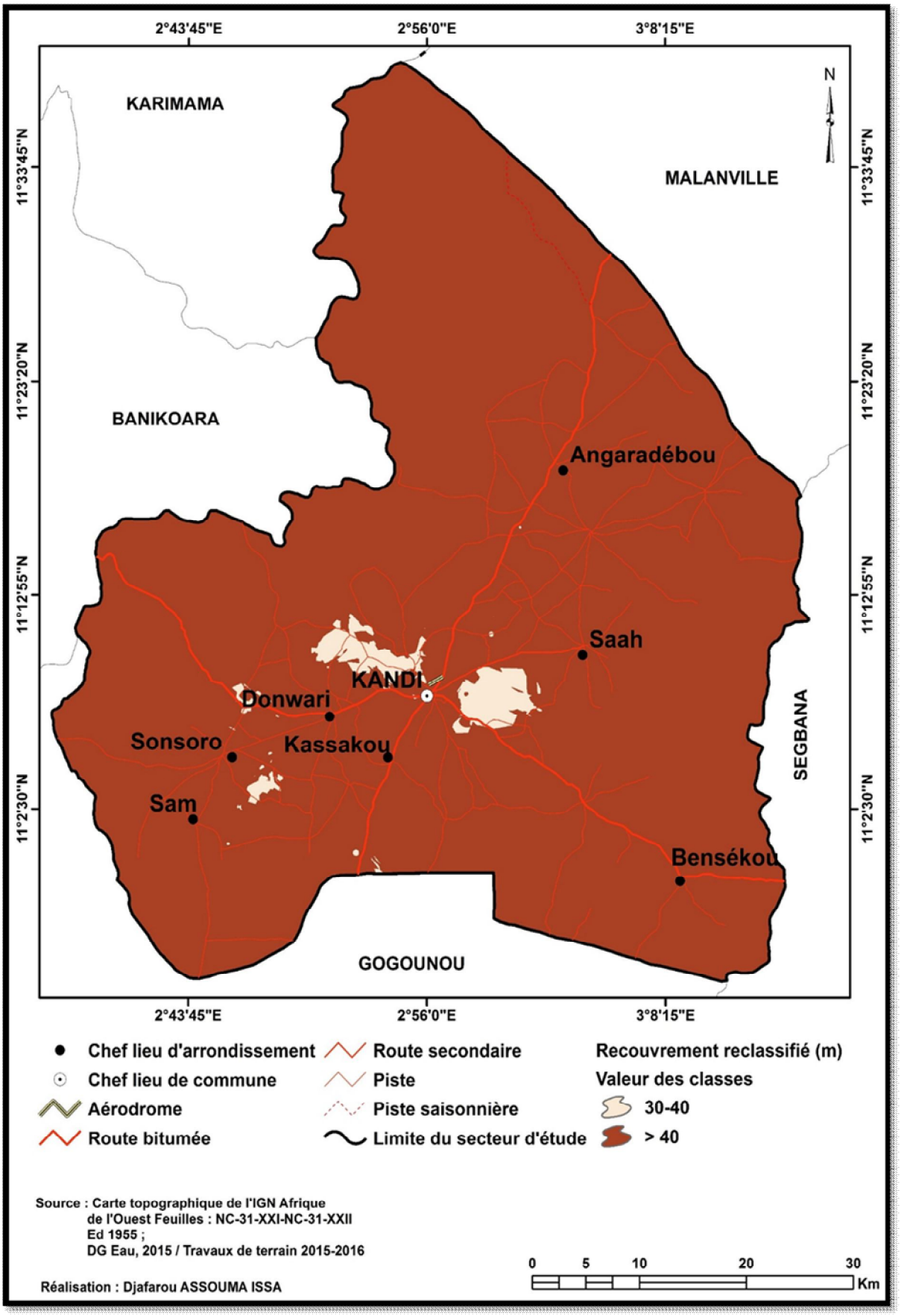

Figure 53 : Epaisseur d'altérite (recouvrement) dans la Commune Kandi. **Source** : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

L'analyse de cette figure 53 montre que 97,35 % de la superficie de la Commune ont un recouvrement supérieur à 40 m selon la grille d'analyse de (Magesh *et al.*, 2012) et 2,65 % ont une épaisseur de la couche d'altérite comprise entre 30 et 40 m. Les localités de Dodopanè, de Kongou et environs dans l'arrondissement de Kandi 1 ; celles de Kandifô, de Podo, d'Alafiarou et de Loussi dans l'arrondissement de Kandi 3 ; les localités de Donwari, de Pédigui présentent un faible recouvrement et disposent d'une grande rétention en eau du sol élevée. La densité des linéaments et l'épaisseur du recouvrement constituent des paramètres importants et utiles à l'identification des ressources en eau souterraine dans la Commune de Kandi.

5.1.3- Lithologie

La nature lithologique des roches permet d'apprécier sa perméabilité et son aptitude à conserver ou à laisser infiltrer l'eau (Assouma, 2011 ; Degnidé, 2004). Le facteur lithologique est caractérisé par sa capacité de rétention ou d'infiltration d'eau du sol. Dans la Commune, l'essentiel des nappes aquifères se localisent sous le socle cristallin où il est difficile d'entreprendre des projets d'hydraulique villageoise (Assouma, 2011). Ce socle cristallin constitué de roches magmatiques et métamorphiques est imperméable. Dans ces roches (gneiss, micaschistes et leptinites), se trouvent deux types de nappes. Les premières sont localisées dans la couche d'altération argilo-sableuse dont l'épaisseur est généralement de l'ordre de 10 à 30 m et qui sont exploitées par des puits à grands diamètres (Vissin, 2007). La perméabilité (k) est très faible, de l'ordre de $k = 8.10^{-6}$ m/s. Les secondes nappes sont situées au niveau du socle sous-jacent à la couverture d'altération dans les fissures qui constituent un aquifère discontinu (liée aux fractures et au recouvrement continu), ne contribuant que très faiblement à alimenter les débits d'étiage (Vissin, 2007 ; Lessard, 1964). Pour la lithologie, la pondération a été faite en suivant la nature des roches en place. Sur cette base, le Dahomeyen prend le poids le plus faible 1 et dispose d'une capacité de rétention en eau élevée. A partir des données hydrodynamiques recueillies au cours des travaux de terrain, l'aquifère du Mio-Pliocen quaternaire IV prend le poids le plus élevé 25 et une capacité de rétention en eau très faible ; ensuite vient les alluvions du Crétacée Supérieur 13 avec une capacité de rétention en eau faible, le Mio-Pliocen 9 avec une capacité de rétention en eau quasi faible et enfin l'Intrusions tardives 3 avec une capacité de rétention en eau moyenne. La répartition spatiale de la lithologie dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 54.

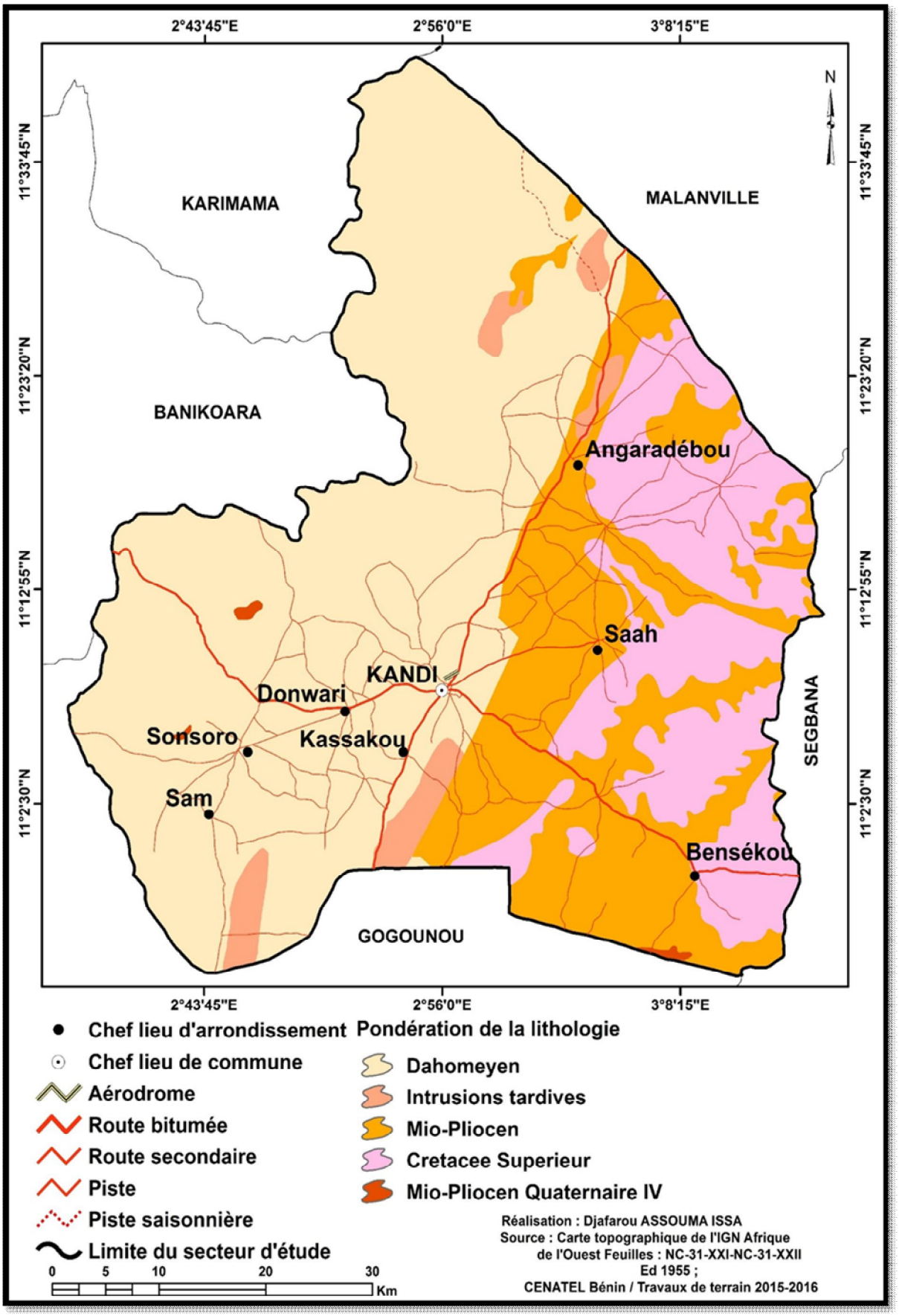

Figure 54 : Pondération de la lithologie dans la Commune de Kandi**. Source** : D. G. Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

L'analyse de cette figure 54 montre que le Dahomeyen occupe plus de la moitié (55,36 %) de la superficie de la Commune. Il couvre presque tout le nord-ouest (NW) et le sud-ouest (SW). Les intrusions tardives sont localisées au sud-ouest (SW) et au nord et occupent 2,98 % du territoire communal. Le Mio-Pliocen est très dominant au sud-est (SE) et au nord-est (NE). Il occupe 22,84 % du territoire de la Commune. Le Crétacé Supérieur quant à lui, est situé au sud-est (SE) et au nord-est (NE) et couvre 18,60 % du territoire. Enfin, des traces de Mio-Pliocen quaternaire IV sont notées au nord-est (NE) dans l'arrondissement de Bensékou et au sud-ouest (SW) dans l'arrondissement de Donwari et occupe environ 0,20 % du territoire de la Commune. La superficie occupée par chaque structure lithologique est représentée dans la figure 55.

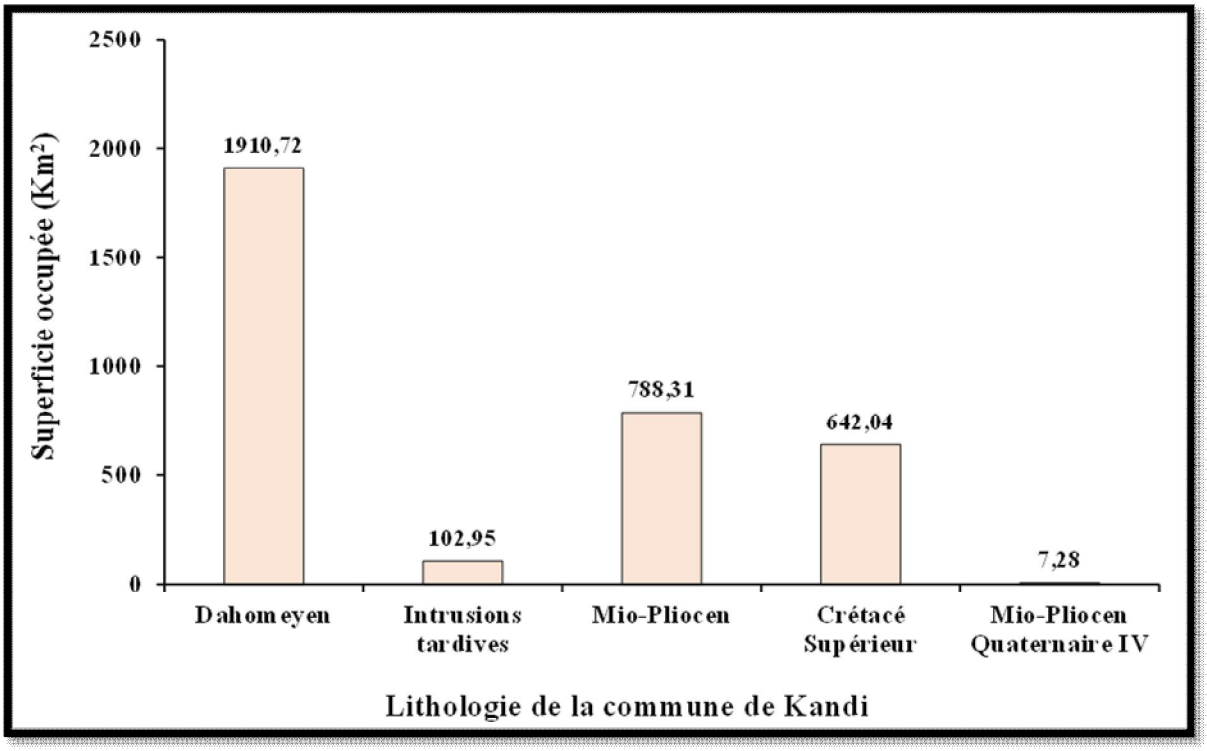

Figure 55 : Superficie occupée par chaque structure lithologie dans la Commune de Kandi.

Source : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 55 montre que le Dahomeyen est largement dominant et occupe plus de la moitié (1910,72 Km^2) de l'espace communal avec une forte capacité de rétention en eau, suivi du Mio-Pliocen (788,31 Km^2) d'une capacité de rétention en eau quasi faible ; du Crétacé Supérieur (642,04 Km^2) d'une capacité de rétention en eau faible. Les intrusions tardives occupent une superficie de 102,95 Km^2 avec une capacité de rétention en eau moyenne. Enfin, le Mio-Pliocen Quaternaire IV occupe 7,28 Km^2 avec une capacité de rétention en eau très faible. En sommes, les différentes formations géologiques en place disposent d'un potentiel

important en ressources en eau souterraine exploitables et favorables à l'implantation de forages.

5.1.4- Densité de drainage

Le drainage estimé affiche un minimum de 1 m/Km² vers le nord-est (Angaradébou, Thia, Alfakoara, Iloré, Fouet et Saah), le sud-ouest (Sinanwongourou, Alibori, Dine et Wonka) et le sud-est (Bensékou et environ). Le maximum atteint 13 m/Km² vers les zones situées dans l'emprise des cours d'eau. Il s'agit des localités de Koutakroukou, de Kongou, de Serkalé, Sassabaga, de Yaoudarou et de Padé. La moyenne spatiale est estimée à 12,64 m/km² pour un écart type de 1,82 m/Km². La variation spatiale de la densité de drainage dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 56.

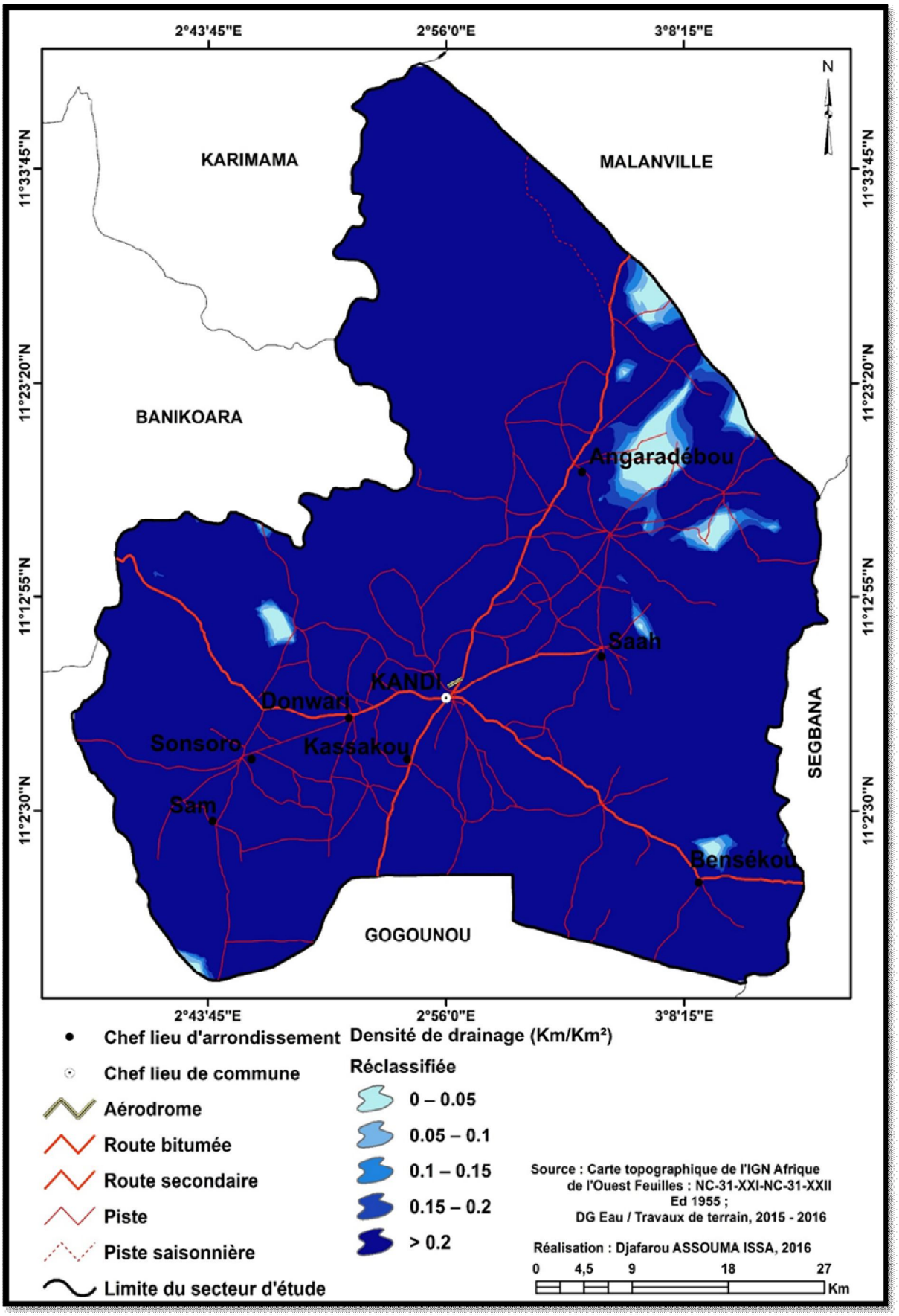

Figure 56 : Densité de drainage dans la Commune de Kandi**. Source** : Image SRTM, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 56 montre que la densité de drainage est très faible (0 à 0,05 Km/Km^2) dans les localités d'Angaradébou, de Thia, d'Alfakoara, d'Iloré et de Fouet dans l'arrondissement d'Angaradébou ; de Bensékou et environs ; de Sinanwongourou, de Alibori dans l'arrondissement de Donwari ; de Banikani dans l'arrondissement de Saah ; et de Wonka dans l'arrondissement de Sam. Par contre, elle est très forte (> 0,2 Km/Km^2) dans les arrondissements urbains (Kandi 1, Kandi 2 et Kandi 3), de Sonsoro et de Kassakou. Au total dans la Commune de Kandi, la densité de drainage présente des conditions morphologiques favorables à l'accumulation des eaux souterraines. Elle permet d'identifier et de visualiser toutes les zones susceptibles d'abriter l'eau.

5.1.5- Hauteurs de pluies annuelles

La pluie est l'élément principal de l'humidification du sol. Sans précipitation, il n'y a pas d'humidité du sol. L'humidité du sol est liée à la hauteur de pluie reçue dans la Commune de Kandi (Assouma, 2011). Notons que cette Commune est contenue dans la zone soudano-sahélienne où les hauteurs pluviométriques enregistrées sont généralement faibles. Les hauteurs de pluie oscillent entre 660,29 et 1012,64 mm de pluie. A partir des données collectées, l'interpolation des moyennes pluviométriques annuelles observées donne une moyenne spatiale de 813,95 mm avec un écart type de 23,53 mm. Le minimum 660,29 mm est enregistré au nord de la Commune dans les localités d'Alfakoara et environs. Le maximum 1012,64 mm est situé dans les localités de Kassakou, Padé, Pédigui, Sakatoussa et Touko au sud. La variation spatiale des hauteurs de pluie dans la Commune de Kandi sont représentées dans la figure 57.

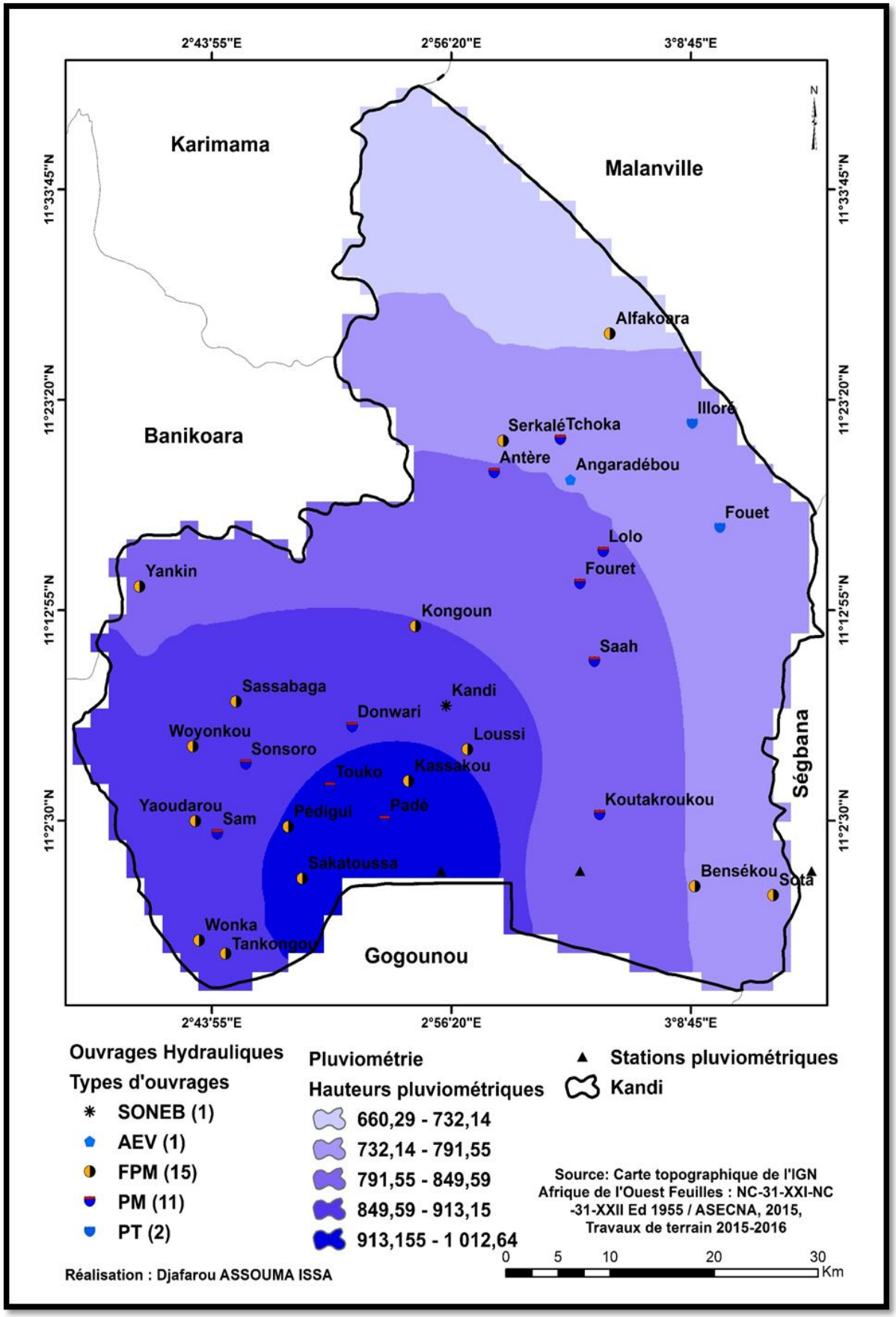

Figure 57 : Répartition spatiale des hauteurs de pluie classifiée dans la Commune de Kandi.

Source : FAO Clim (www.faoclim.net) / Travaux de terrain, 2016

De l’analyse de cette figure 57, il ressort que les localités de Kassakou, de Sakatoussa, de Pédigui, de Touko et de Padé sont les plus arrosées (hauteurs de pluie annuelle comprise entre 950 et 1013 mm). Ensuite, celles de Kandi centre, de Donwari, de Sonsoro et de Sam y compris leurs hameaux sont moyennement arrosées avec des hauteurs annuelles de pluie qui varient de 800 à 900 mm. Les autres localités telles que Yankin, Saah, Angaradébou, Bensékou, Alfakoara et de la zone cynégétique de la Djona sont faiblement arrosées.

5.1.6- Topographie (LS)

Selon (Luneau, 2006), le relief est une donnée fondamentale pour l’étude de tous les phénomènes naturels régis par la gravité et qui obéissent aux lois physiques de l’écoulement.
La pente a une grande influence puisqu’elle fournit des informations sur les dénivelées. Le gradient de la pente agit directement sur le ruissellement et l’infiltration. La longueur de la pente (LS) caractérisant la topographie de la Commune de Kandi oscille entre 3 m et 13 m. La moyenne spatiale estimée est 5,42 m pour écart type de 1,82 m. La répartition spatiale de la longueur de pente (LS) dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 58.

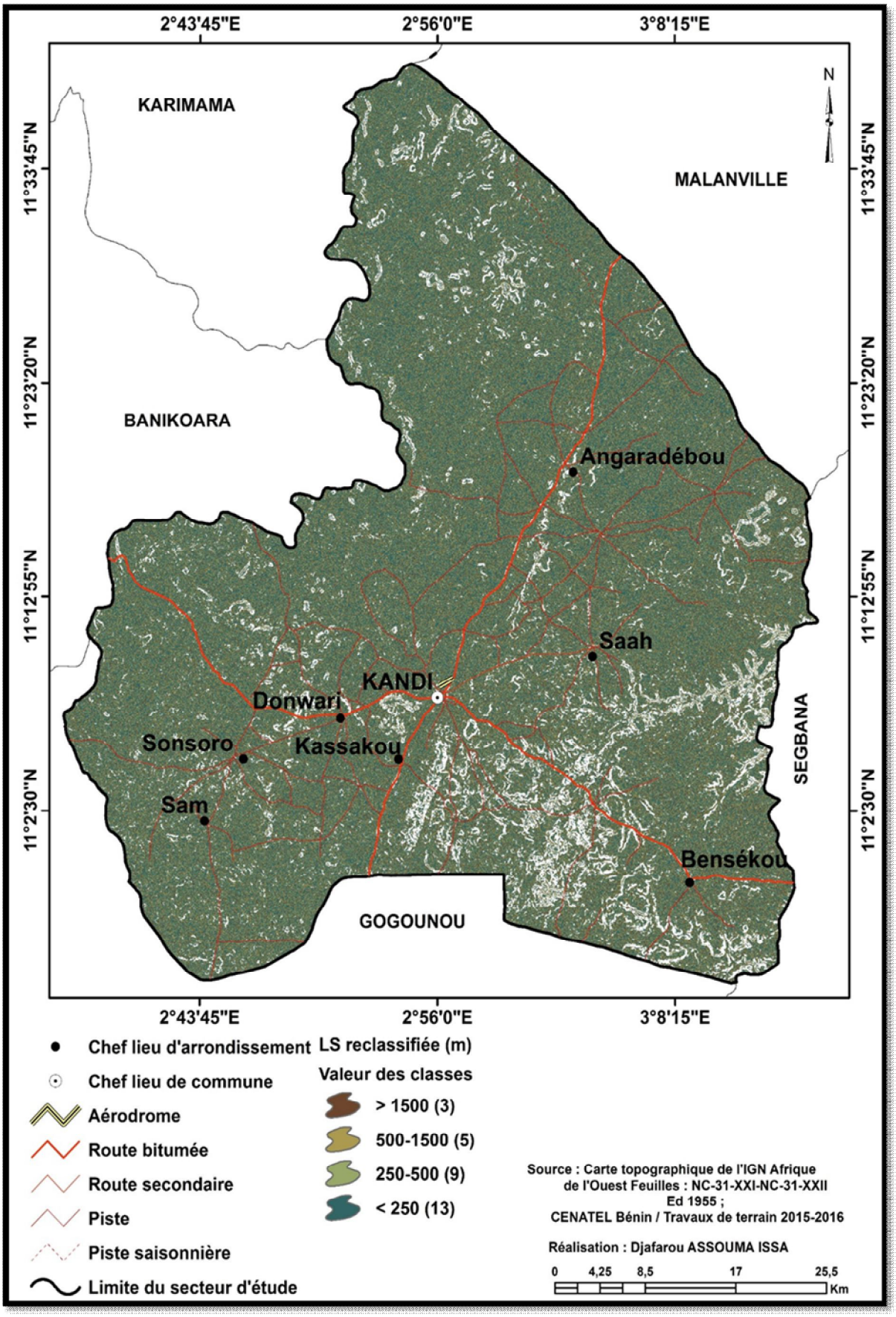

Figure 58 : Longueur de la pente (LS) reclassifiée dans la Commune de Kandi. **Source** : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

L’analyse de cette figure 58 montre que la longueur de la pente (LS) est très dense dans les localités de Sam, de Sonsoro, de Touko, de Kassakou, de Bensékou, d’Angaradébou et ses environs. Ce qui traduit que la pente est très forte ou que le relief de la zone est très accidenté. La longueur de la pente (LS) permet d’identifier les zones à bonnes conditions de réalisation d’ouvrages hydrauliques ou à bonnes conditions de recharge.

5.1.7 - Cartographie de l’aptitude hydrogéologique

Avant toute considération, les ouvrages hydrauliques doivent être implantés dans un environnement propre, éloigné de toute source potentielle de pollution. Il faudra tenir compte des contraintes de proximité par rapport à des sources de pollution. Les points de captage d'eau potable doivent bénéficier d'un périmètre de protection afin d'éviter la pollution liée aux activités humaines usuelles. L’implantation des ouvrages hydrauliques, notamment en zone urbaine, devra préalablement tenir compte de la présence de canalisations et de réseaux souterrains. Plusieurs critères ont contribué à la détermination du potentiel en eau souterraine favorables à l’implantation de forages. Parmi ces critères, se trouvent : la densité de linéaments, l’épaisseur d’altérite ou le recouvrement, la lithologie, la densité de drainage, la pluviométrie, la topographie ou la longueur de la pente (LS). La synthèse des six paramètres étudiés dépeint la répartition spatiale du potentiel en eau souterraine de la Commune de Kandi (figure 59).

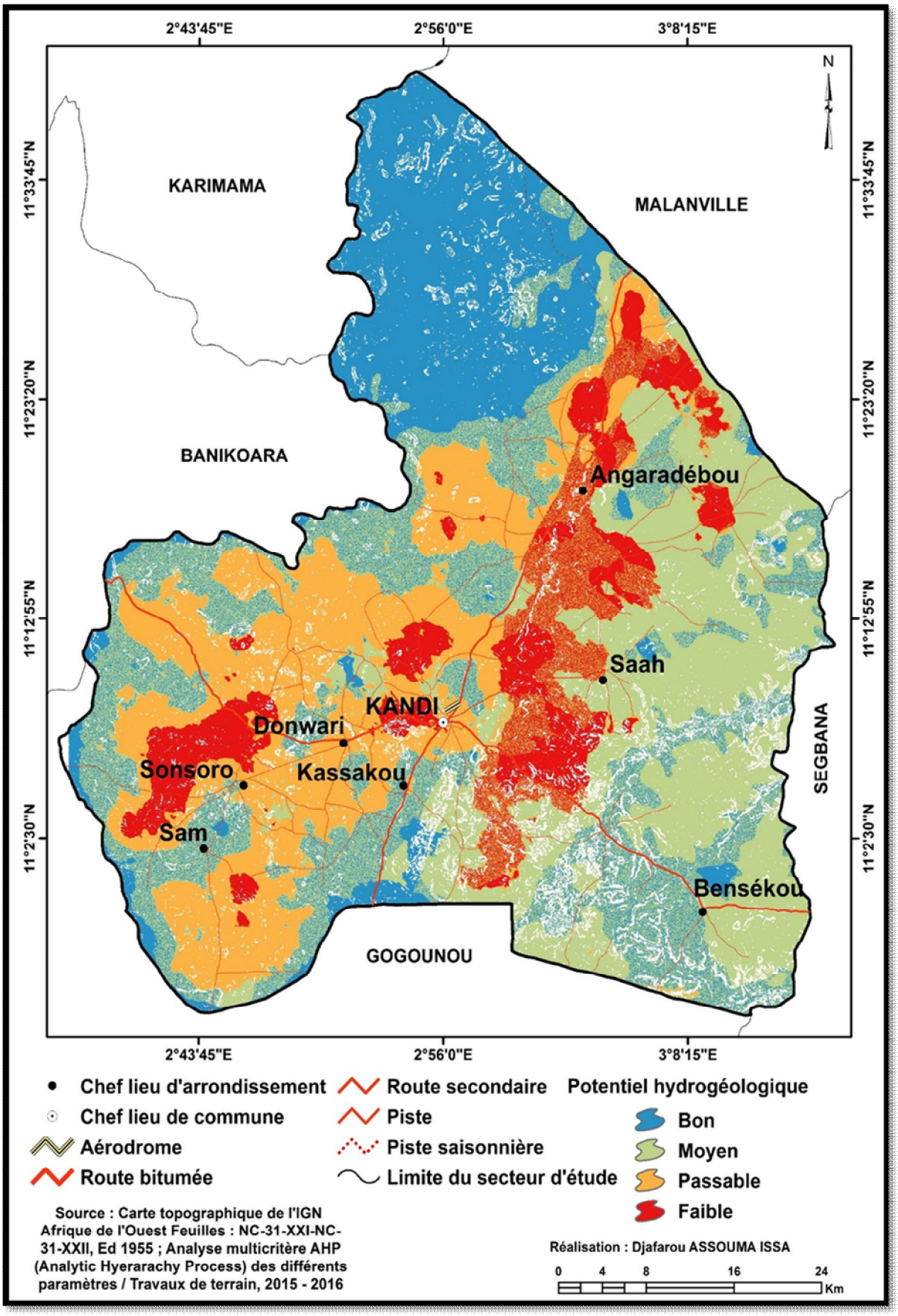

Figure 59 : Aptitude hydrogéologique de la Commune de Kandi.

Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 59 présente le potentiel hydrogéologique de la Commune de Kandi. Ce potentiel se répartit respectivement : Bon (856,73 Km^2), Moyen (1225,62 Km^2), Passable (764,14 Km^2) et Faible (353,17 Km^2). Ainsi, 2082,35 Km^2 soit 65,09 % de la superficie totale sont favorables en ressource en eau. Ces zones concernent les localisées de Kouta, de Konékoga, de Tchoka et Fouet dans l'arrondissement d'Angaradébou. Les localités de Yankin, de Sansou, de Dine, de Wérè, dans l'arrondissement de Donwari, de Bénè et environs dans l'arrondissement de Sonsoro, de Sakatoussa, de Padé, de Firi et de Soualou dans l'arrondissement de Kassakou. Les localités de Bada et environs dans l'arrondissement de Saah et presque tout l'arrondissement de Bensékou.

Les zones ayant un potentiel hydrogéologique faible (1117,31 Km^2 soit 34,91 % du territoire communal) se retrouvent dans les localités de Kofoissa, de Thui, d'Angaradébou centre, de Thia, d'Alfakoara, d'Iloré et de Lolo dans l'Arrondissement de d'Angaradébou. Les localités de Pédè, de Kongou, de Dodopanè, de Sonkparè, de Ganssosso et de Kéféri dans l'arrondissement de Kandi 1 sont aussi concernées. Les localités de Woyonkou, de Sonsoro de Yaoudarou (arrondissement de Sonsoro) et de Gbindarou et environs (arrondissement de Sam) présentent également un potentiel faible en ressource en eau souterraine.

La répartition spatiale du potentiel en eau souterraine dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 60.

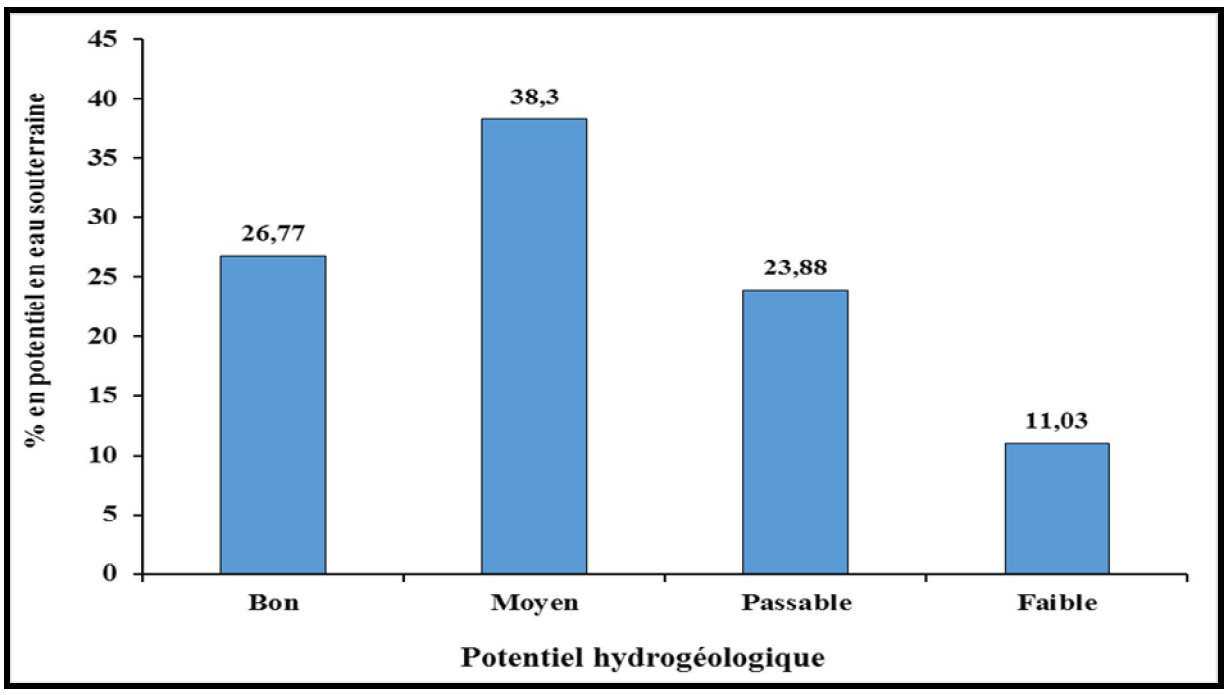

Figure 60 : Potentiel en ressource en eau souterraine dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

L’analyse de cette figure 60 montre que 26,77 % de la superficie totale affiche un bon potentiel hydrogéologique ; 38,3 % un potentiel moyen ; 23,88 % un potentiel passable et 11,03 % un potentiel faible. Les zones ayant un potentiel faible (11,03 %) sont des zones de socle. De ces analyses, il ressort que le potentiel en ressource en eau (plus de 65 %) est bien fourni dans la Commune de Kandi. Par conséquent les populations de la Commune ne souffrent pas de stress hydrique.

5.2- Analyse de la productivité hydrodynamique

Cette analyse est faite à partir de la transmissivité, du débit des forages et du niveau statique des puits du milieu de recherche. L’analyse multicritère de ces trois paramètres permet d’identifier les zones potentiellement hydrodynamiques.

5.2.1- Transmissivité

Elle traduit le volume d’eau qui traverse un prisme aquifère suite à une baisse de charge piézométrique unitaire. L’interpolation par Krigeage à partir des données de terrain donne une moyenne spatiale de $5{,}08.10^{-4}$ m^2/s dans la Commune. Les forages des arrondissements urbains y compris ceux d’Angaradébou, de Bensékou, et de Saah présentent les plus faibles valeurs et occupent plus de la moitié du territoire communal. Par contre, les arrondissements de Sonsoro et de Sam affichent les plus grandes valeurs. La répartition spatiale de la transmissivité des forages dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 61.

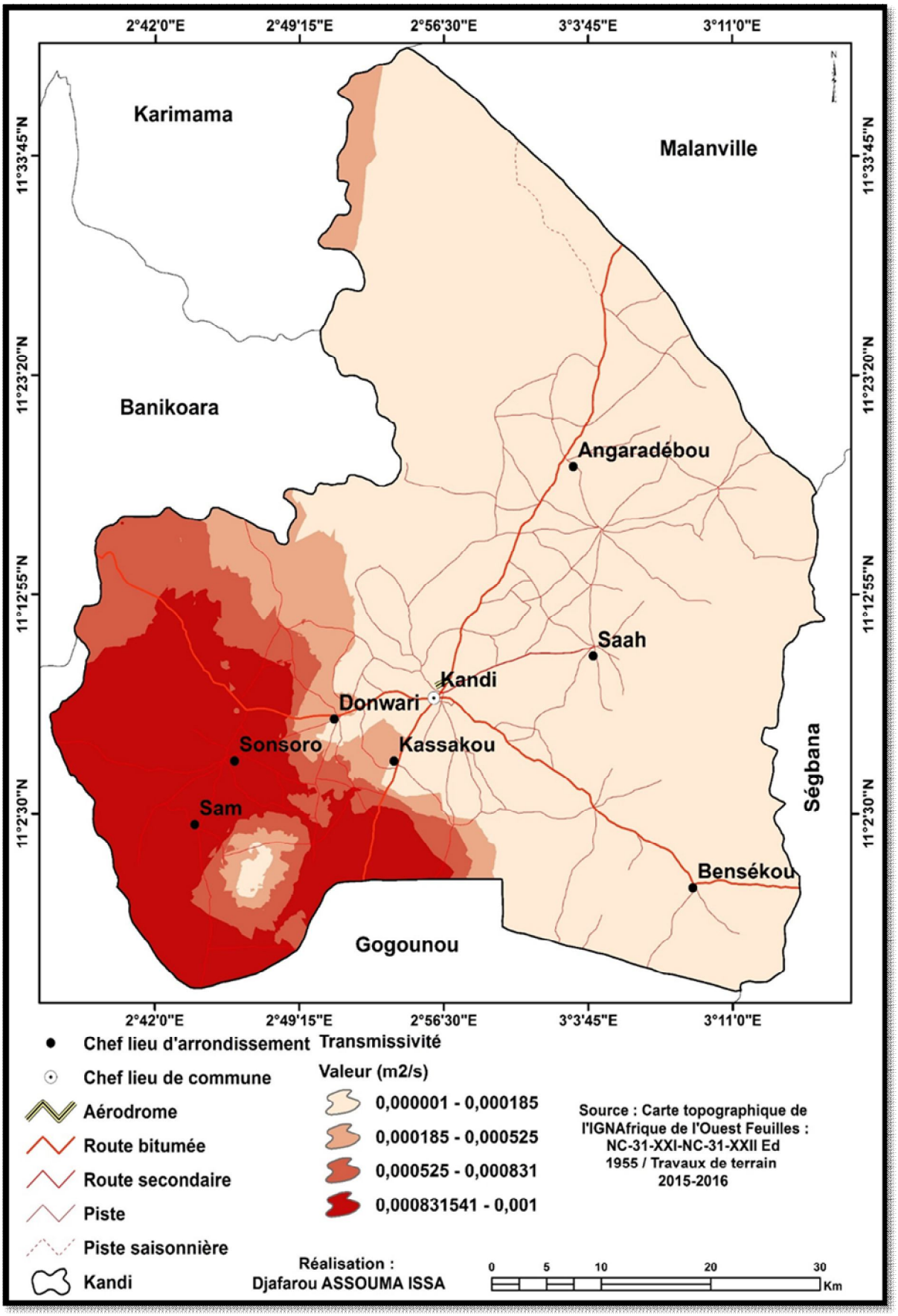

Figure 61 : Transmissivité des forages par Krigeage dans la Commune de Kandi. **Source** : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 61 traduit la spatialisation de la transmissivité des infrastructures hydrauliques sur le territoire communal. Elle montre que la transmissivité des forages est très élevée au sud-est de la commune. Ainsi, les infrastructures hydrauliques des localités de Sonsoro, de Yaoudarou, de Bénè, de Woyonkou, de Gbindarou, de Sam, de Wonka, de Tankongou et de Sakatoussa connaissent leur transmissivité élevée. La transmissivité permet d'évaluer le débit que peut capter un forage. C'est un paramètre qui régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère, sous l'effet de du gradient hydraulique, incluant l'épaisseur de l'aquifère.

5.2.2- Débit

Le débit est un paramètre qui permet de mesurer la productivité d'un puits ou d'un forage. Le débit moyen des forages obtenus après interpolation par Krigeage dans la Commune de Kandi donne 6,30 m^3/h et un écart type de 4,59 m^3/h. La répartition spatiale du débit dans la Commune de Kandi est représentée dans la figure 62.

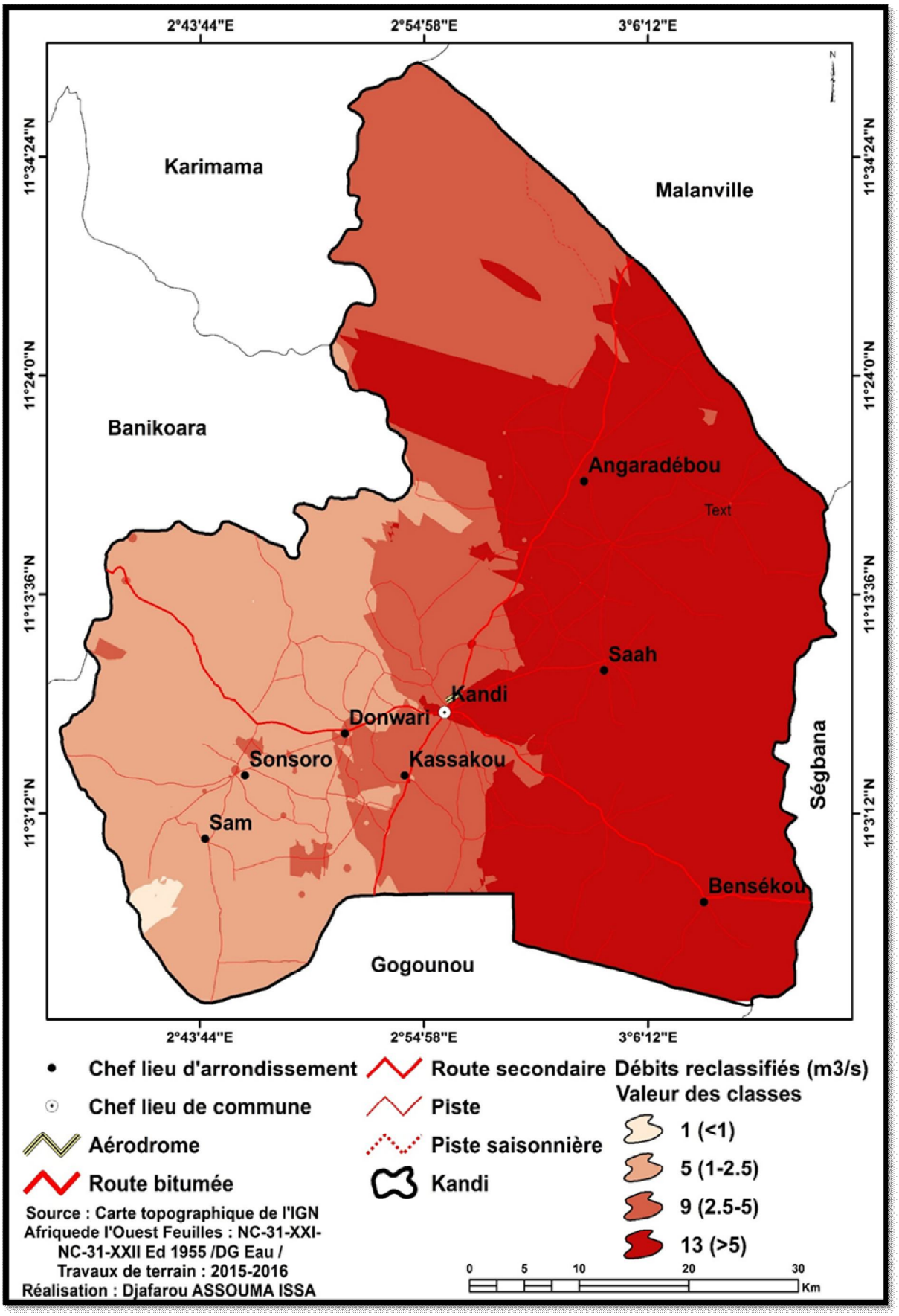

Figure 62 : Spatialisation du débit des ouvrages hydrauliques par Krigeage dans la Commune de Kandi. **Source** : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

La figure 62 présente la répartition spatiale des dédits des ouvrages hydrauliques. Les ouvrages hydrauliques des localités de Wonka dans l'arrondissement de Sam enregistrent les plus faibles débits. La partie est de la Commune et les localités de Konékoga, de Serkalé, de Tchoka, d'Antéré, de Koutala et de Thui à l'est de l'arrondissement d'Angaradébou, de Podo et de Kandifô dans l'arrondissement de Kandi 3 affichent des débits élevés.

5.2.3- Niveau statique

Le niveau statique moyen des puits à grands diamètre après Krigeage est de 7,59 m avec un écart type de 1,29 m. Les puits des localités de Sakatoussa, de Padé, de Firi, de Soualou dans l'arrondissement de Kassakou ; ceux des localités de Pédigui à Sonsoro et de Touko à Donwari au sud-ouest ; les localités de Konékoga, de Serkalé, de Tchoka, d'Antéré, et de Koutala situées au nord-ouest affichent un niveau statique élevé. Par contre les puits des localités de Bensékou et environs, de Fouet, d'Iloré dans l'arrondissement d'Angaradébou et ceux des localités de Sassabaga, de Wéna, de Wérè et Sansou disposent d'un très faible niveau statique. La répartition du niveau statique des puits à grands diamètre dans la Commune de Kandi est présentée dans la figure 63.

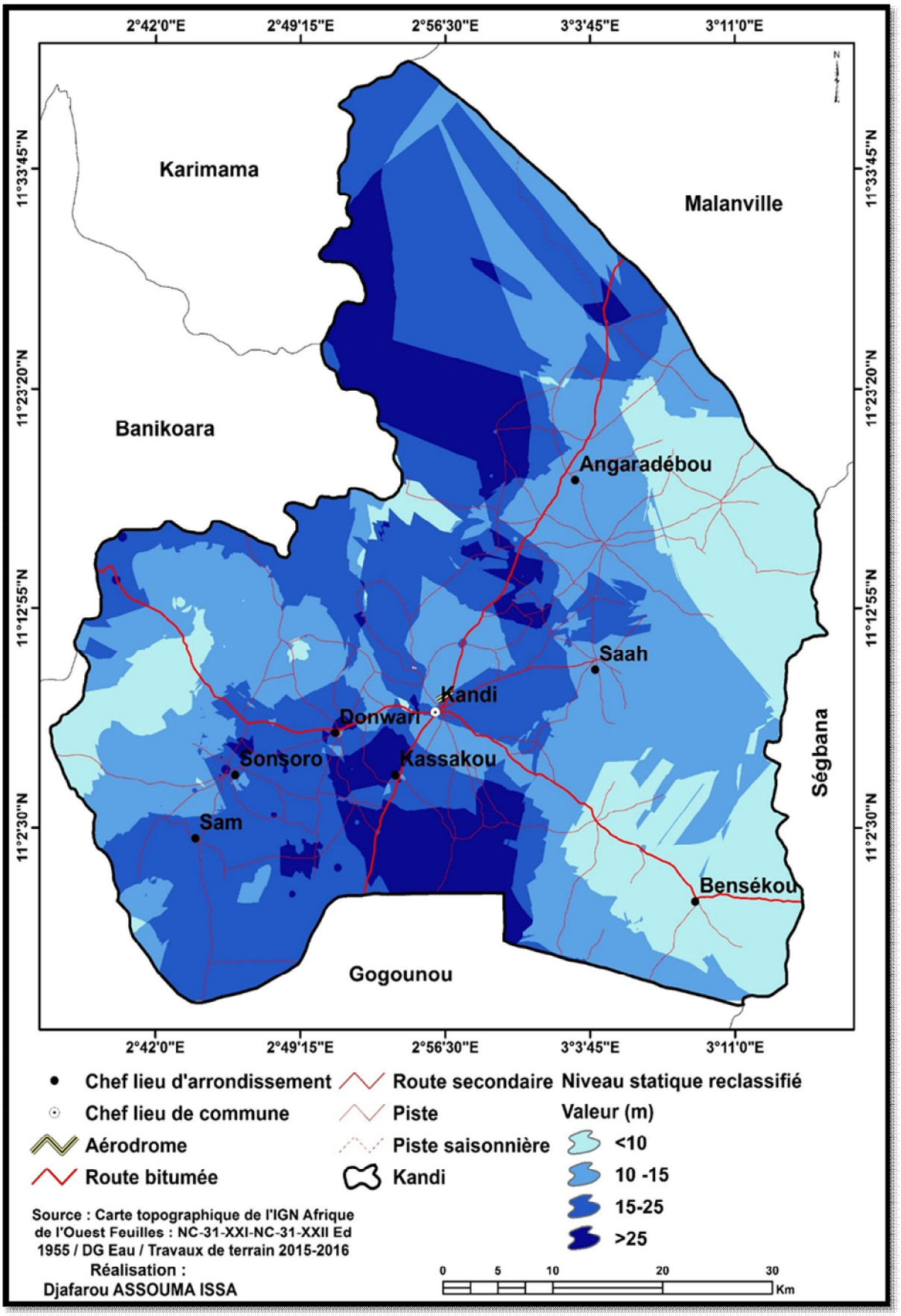

Figure 63 : Niveau statique des Puits à grands diamètre par Krigeage dans la Commune de Kandi. **Source** : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 63 montre que les niveaux statiques des infrastructures hydrauliques (puits) sont plus élevés au sud-ouest et au nord-ouest de la Commune de Kandi (>15 m). Par contre les ouvrages hydrauliques des localités de Bensékou, de Fouet, et de Woyonkou présentent les niveaux statiques les plus faibles.

5.2.4- Potentiel hydrodynamique

Il résulte de la synthèse des paramètres précédents (transmissivité, débit, et niveau statique). Cette opération offre une carte finale qui délimite la Commune de Kandi en sous zone selon son potentiel hydrodynamique. Ainsi, 397 Km^2 soit 11,50 % de la superficie de la Commune occupent un potentiel hydrodynamique faible. 1203 Km^2 soit 34,86 % un potentiel passable et 670 Km^2 un potentiel hydrodynamique bon (figure 64).

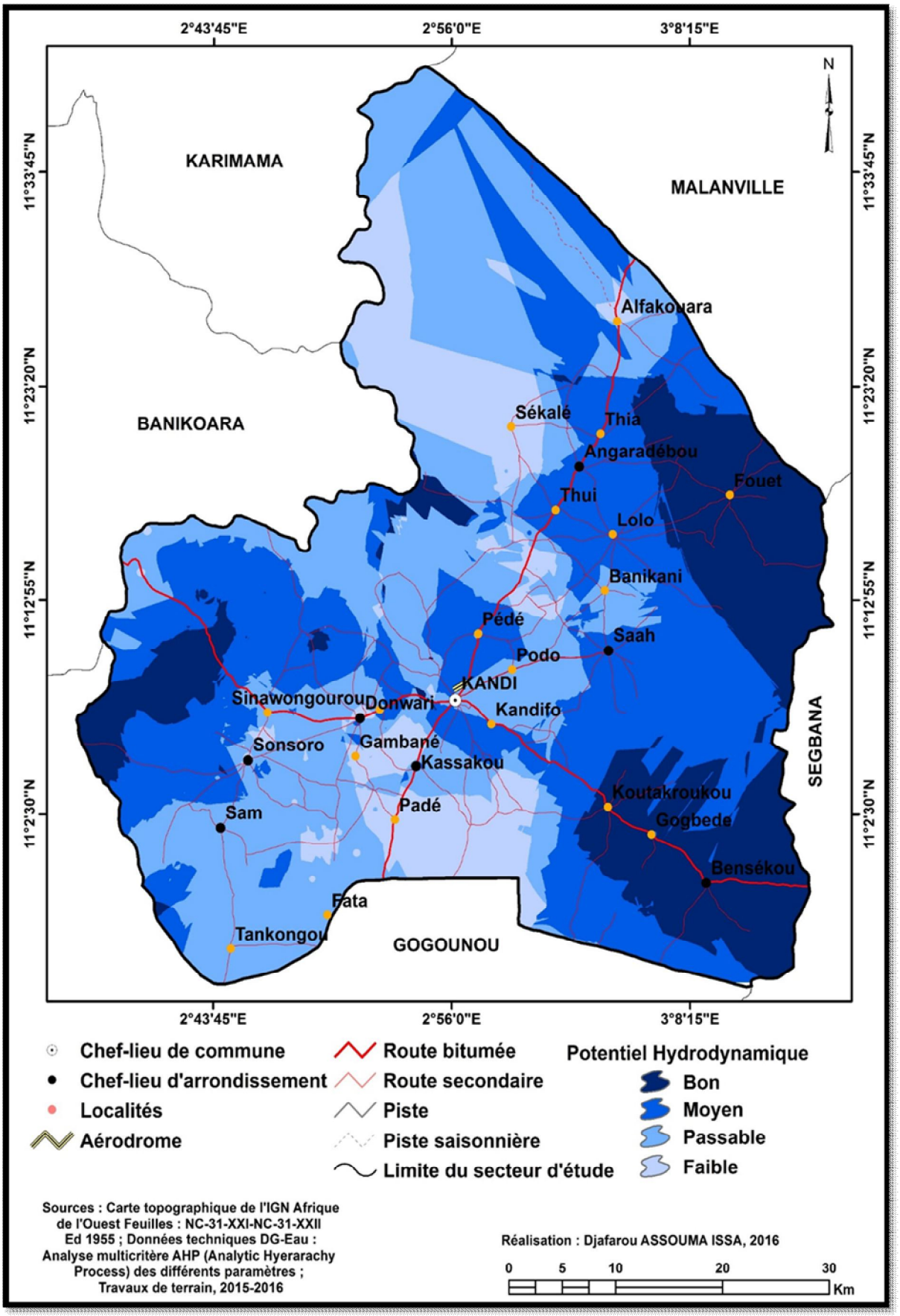

Figure 64 : Potentiel hydrodynamique dans la Commune de Kandi. **Source** : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Cette figure 64 présente la répartition du potentiel hydrodynamique de la Commune de Kandi. La Commune affiche 11,50 % de potentiel hydrodynamique faible et concernent les localités de Padé, de Gambanè, de Banikani, de Serkalé et d'Alfakoara. Le potentiel hydrodynamique passable occupe 34,86 % du territoire et draine les localités de Sonsoro et environs, de Sam, de Tankongou, de Sinanwongourou et de Podo. Les localités de Saah, de Lolo, de Thui, de Thia, de Pédè et de Kandifô disposent d'un potentiel hydrodynamique moyen (34,2 %). Enfin les localités de Bensékou et environs de Fouet, de Wérè, de Wena et Sassabaga disposent d'un potentiel hydrodynamique bon et occupent 19,42 % du territoire communal (figure 65).

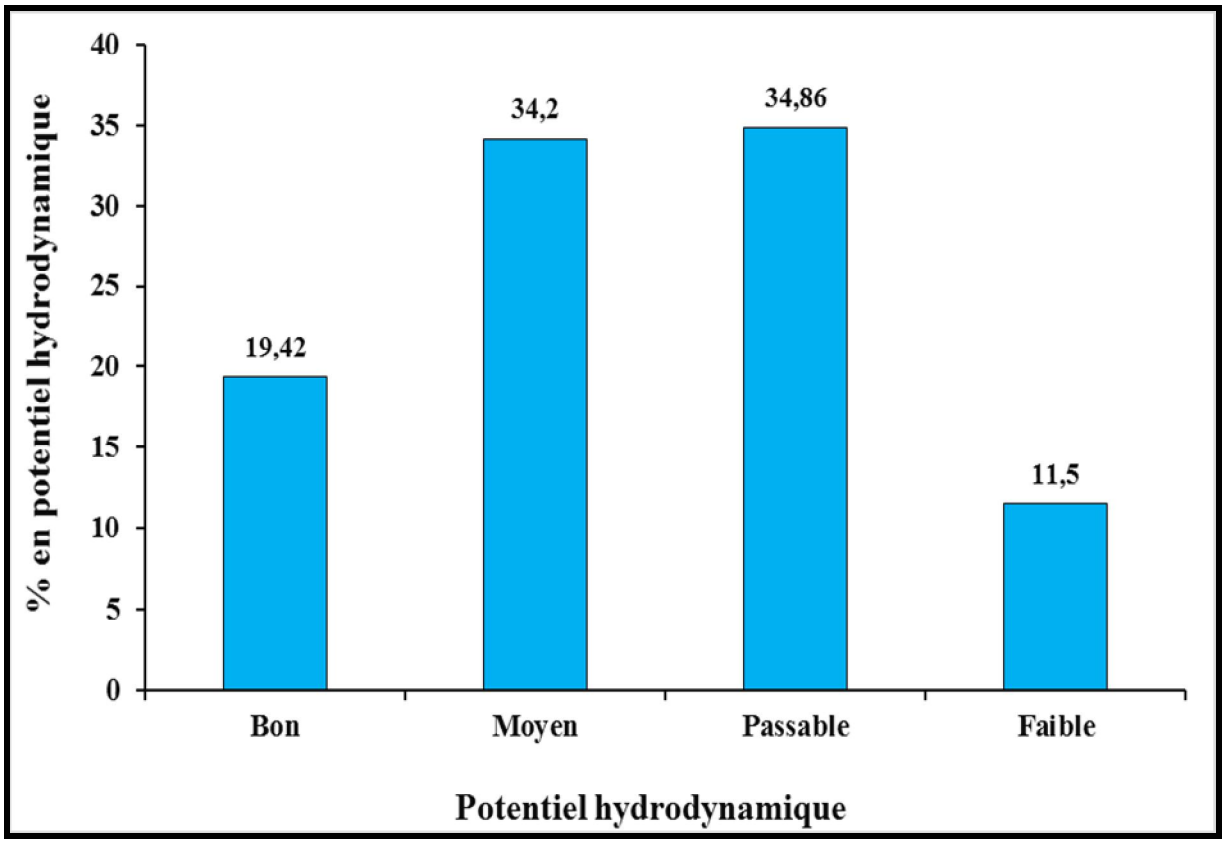

Figure 65 : Pourcentage en potentiel hydrodynamique dans la Commune de Kandi. **Source** : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016

5.3- Discussion sur l'identification des sites favorables aux forages

Les sites propices à l'implantation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi sont analysés à partir du potentiel en eau souterraine des aquifères et de la productivité hydrodynamique.

5.3.1- Potentiel en eau souterraine

Au Bénin, la plupart des Communes font recours aux eaux souterraines (Boukari, 1998), excepté les zones hydrogéologiquement difficiles. La disponibilité quasi permanente et la qualité propice à l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) des populations font de cette ressource un élément d'intérêt pour l'atteinte des Objectifs du Développement Durable (ODD). Les réservoirs d'eau souterraine sont séparés en aquifère de socle occupant la majeur partie du sud de la Commune et du sédimentaire dominant au nord. La disponibilité des eaux souterraines, la nature de l'aquifère et les conditions hydrologiques ainsi que climatiques sont très importantes pour apprécier la pérennité des nappes. Les travaux effectués par Boukari (1982) dans la région ont reconnu à l'aide des photographies aériennes des directions principales NNE-SSW et ESE-WNW. Ces orientations des fractures s'inscrivent dans l'intervalle de directions identifiées sur les images Landsat OLI/TIRS exploitées dans la présente étude. La recherche des réseaux de fracture dans le bassin du socle dans la Commune de Kandi maximise la chance d'obtenir de très bons débits. De même, l'implantation des forages dans le socle n'échappe pas à ce principe. Les couches d'altérite ensuite suivant la nature de la roche saine sous-jacente (lithologie) renforcent la disponibilité de l'eau si elle est importante. La topographie, le drainage ainsi que la pluviométrie conditionnent considérablement le potentiel hydrogéologique. Plusieurs travaux de recherche ont mis l'accent sur l'importance des linéaments, la couche d'altérite, la densité de drainage, la topographie (LS) et la pluviométrie dans l'identification du potentiel en eau souterraine. A l'instar des travaux de Ndatuwong et Yadav, (2014) ; d'Abdalla (2012) ; de Magesh *et al.*, (2012) effectués un peu partout dans le monde, l'addition des différentes couches (densité de linéament, épaisseur d'altérite, lithologie, densité de drainage, pluie, topographie) offre un environnement propice de comparaison et de pondération afin de dépeindre l'état des lieux de la disponibilité des ressources en eau souterraine dans la Commune de Kandi. En effet, l'analyse de l'aquifère dans la Commune de Kandi révèle que 26,77 % de la superficie totale affiche un bon potentiel hydrogéologique ; 38,3% un potentiel moyen ; 23,88 % un potentiel passable et 11,03 % un potentiel faible. Ce qui montre que 2082,35 Km^2 (potentiel en eau bon et moyen) soit 65,09 % de la superficie du territoire communal sont favorables en ressource

en eau. Les zones ayant cette potentialité en ressources souterraine sont plus situées au nord-est et concernent les localisées de Kouta, de Konékoga, de Tchoka et Fouet dans l'arrondissement d'Angaradébou. Les localités de Yankin, de Sansou, de Dine, de Wérè, dans l'arrondissement de Donwari, de Bénè et environs dans l'arrondissement de Sonsoro, de Sakatoussa, de Padé, de Firi et de Soualou dans l'arrondissement de Kassakou sont également concernées. Les localités de Bada et environs dans l'arrondissement de Saah et une bonne partie de l'arrondissement de Bensékou disposent d'un bon potentiel hydrogéologique.

5.3.2- Productivité hydrodynamique

La productivité d'un aquifère en milieu de socle est appréciée en se basant principalement sur la transmissivité du réservoir, la conductivité hydraulique, le débit, le niveau statique des puits (Kouassi *et al.*, 2013 ; Biemi, 1992 ; Traoré, 1985 ; Savadogo, 1984 ; Boukari, 1982). En effet, la transmissivité interpolée à partir des données des forages dans la Commune de Kandi s'étend de 10^{-6} à 10^{-3} m^2/s avec une moyenne spatiale de $5{,}08.10^{-4}$ m^2/s. Les travaux réalisés par Oussou (2015) sur le bassin du Zou ont abouti à une transmissivité qui varie de $6{,}66.10^{-6}$ m^2/s à $3{,}36.10^{-3}$ m^2/s. Une autre étude réalisée par Boukari (1982) dans la même zone est parvenue à une transmissivité de 7.10^{-4} m^2/s dans l'aquifère de roche fissurée et 2.10^{-3} m^2/s dans l'aquifère d'altérite. Ces résultats ainsi que ceux obtenus par d'autres chercheurs dans le socle Dibi (2008) ; Soro (2007) ; Lasm (2000) et l'intervalle de $2{,}54.10^{-7}$ m^2/s à $2{,}67.10^{-3}$ m^2/s révélé par Kouassi *et al., (*2013) corroborent les résultats obtenus dans la présente recherche. En outre sur le territoire communal, l'aptitude hydraulique met en exergue, près de 397 Km^2 soit 11,50 % de la superficie détient un potentiel faible, 34,86 % de potentiel passable, 34,2 % un potentiel modéré et environ 19, 42 % de potentiel bon. Ces résultats se rapprochent de ceux retrouvés par Oussou (2015) dans son étude sur l'analyse spatiale de la disponibilité des ressources en eau souterraine dans le bassin du Zou au Bénin. La carte d'aptitude hydrodynamique constitue un outil d'aide à la prise de décision en cas de prospections futures dans la Commune de Kandi. La Base de Données Intégrée (BDI) de la DG-Eau serait certainement plus rentable si les informations compilées jusqu'à présent faisaient objet d'une analyse synthétique et de cartographie du potentiel des aquifères à une échelle plus grande ou tout au moins à l'échelle des Communes afin de réduire le taux de forage négatif. L'indice du plus proche voisin obtenu (0,537), le score z (-137,09) et la valeur p (inférieure à 0,01) montrent que les infrastructures hydrauliques ne sont pas uniformément reparties sur le territoire pour offrir une meilleure analyse de surface. Mais, en réalité sur le terrain, l'implantation des ouvrages hydrauliques est principalement liée à la présence

d'agglomération car les ouvrages sont généralement destinés à l'hydraulique villageoise. Malgré cette insuffisance de point de mesure, la tendance spatiale n'est point cachée.

Conclusion partielle

L'analyse du potentiel en eau souterraine fait appel à nombre de paramètres qui méritent d'être étudiés selon leur contexte. L'apport des linéaments et l'épaisseur d'altérite améliorent le potentiel en eau souterraine par endroit jusqu'à atteindre un niveau moyen à bon (65,09 %). Les aquifères affichent un potentiel hydraulique faible à passable de 46,36 % qui ne cachent guère les difficultés d'accès à l'eau souterraine. Cependant à une échelle plus grande, les aquifères peuvent présenter d'intérêt surtout grâce au réseau de linéaments et dans les zones à bonne potentialité pour l'AEP des populations dans la Commune de Kandi. Ainsi, l'accessibilité à l'eau souterraine principalement dans l'aquifère de la Commune de Kandi nécessite : une analyse détaillée de la ressource à des échelles plus grandes afin de garantir de bon débit lors des campagnes d'hydraulique villageoise ; l'exploitation des avantages de la télédétection et des SIG pour la prospection des eaux souterraines afin de bénéficier des innovations actuelles des données. La carte de potentialité en eau souterraine dans la Commune de Kandi apparait comme un instrument d'aide à la prospection en milieu de socle. Elle intervient en amont dans toutes recherches d'eau. L'intérêt de cette carte est de contribuer à prédire la probabilité de succès lors de la réalisation des infrastructures hydrauliques en ce sens qu'une bonne potentialité traduirait une probabilité élevée de tomber sur un aquifère productif. L'utilisation des outils de télédétection et des SIG lors des campagnes d'hydrauliques villageoises constituent un atout considérable pour la recherche scientifique. Grace à cette technique, la prospection des forages positifs se fait aisément avec beaucoup plus d'efficacité. L'exploitation des outils de télédétection, des images satellitaires et l'analyse multicritère de décision des différents paramètres identifiés et exportés dans l'environnement SIG ont permis de définir le potentiel en eau souterraine et hydrodynamique de la Commune de Kandi. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle : *'' Les sites propices à l'implantation de forages sont identifiés à partir des techniques de télédétection et des SIG''* est vérifiée.

.

CONCLUSION GENERALE

Les difficultés d'accès à l'eau potable sont surtout liées à l'inégale répartition des infrastructures hydrauliques (PM, FPM et BF/AEV) et aux pannes fréquentes de certains de ces ouvrages. Cette mauvaise spatialisation en système d'approvisionnement en eau de consommation humaine des populations de la Commune de Kandi, ajoutée à la sous information et le faible revenu des ménages diminuent l'accessibilité de la majorité de ces ménages aux sources d'eau de qualité requise. Ainsi, cette inégale répartition des infrastructures hydrauliques conduit souvent à une affluence des usagers autour des infrastructures hydrauliques. Les résultats des travaux de terrain ont montré que le sud-ouest et le centre de la Commune de Kandi sont plus couverts en infrastructures hydrauliques. Par contre, le nord et le sud-est sont faiblement couverts. Cette situation entraine une insuffisance d'ouvrages hydrauliques et conduit parfois les communautés en milieu rural et semi urbain à s'approvisionner au niveau des sources d'eau inappropriées (puits traditionnels, eaux de pluie, retenues d'eau, mares et cours d'eau) exposées à la pollution, donc de qualité douteuse et non contrôlées par les structures compétentes (Mairie, Service d'Hygiène et d'Assainissement de base, Service Régional de l'Hydraulique). L'absence d'outil spatial dans la distribution des infrastructures hydrauliques a été du coup un facteur limitant pour une meilleure gestion de ces ouvrages. La présente recherche vient donc de prouver les capacités et la diversité du (SIG) pour l'aide à la décision en matière d'accès à l'eau potable. L'approche utilisée dans ce cadre est basée sur l'intégration de la gestion de l'information à référence spatiale. Les avantages issus de l'utilisation des SIG dans la gestion des ressources en eau sont énormes. En ce qui concerne la distribution et la gestion des ouvrages d'eau, il y a : un bénéfice du temps, un accès facile aux ressources en eau et un accès facile aux informations. L'accès à l'eau potable est étroitement lié à la lutte contre la pauvreté. En effet, l'installation des forages devrait permettre l'amélioration de la santé des communautés, par la réduction des risques de maladie, la réduction de la charge du travail pour les femmes et des enfants. La spatialisation des ouvrages hydrauliques doit être proportionnelle ou doit tenir compte des normes de répartition des points d'eau et du nombre d'habitants par localité. Les élus locaux et le Ministère en charge de l'eau, les ONG et les PTF doivent s'investir pour l'installation d'autres infrastructures hydrauliques afin d'optimiser l'accessibilité. Les impacts de la qualité de l'eau de boisson sur la santé des populations de la Commune de Kandi ont été mis en exergue à partir de l'approche SIG. Ainsi des analyses spatiales ont été menées en vue d'appréhender la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau. Pour ce faire, les prélèvements d'échantillons d'eau au niveau des infrastructures hydrauliques sur le terrain ont permis de réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques au laboratoire central de la

Direction Régionale de l'Hydraulique à Parakou. Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés ont permis de noter une faible minéralisation et une pollution azotée des échantillons d'eau. L'examen bactériologique de ces échantillons d'eau a montré la présence de germes tests de contamination fécale notamment, les coliformes totaux et les Escherichia Coli. Ces eaux fortement polluées par les entérobactéries pathogènes sont les principales sources probables des maladies hydriques. Les eaux souterraines étant généralement exemptes de germes pathogènes, le manque d'hygiène autour des points d'eau et la mauvaise gestion des déchets pourraient être les sources probables de contamination de ces eaux qui malheureusement sont consommées par les populations. Ces résultats ont permis grâce aux outils SIG d'élaborer des cartes de distribution spatiale des éléments physico-chimiques et bactériologiques et leur vulnérabilité. Des analyses SIG ont été également menées pour identifier les ménages qui sont proches ou éloignés des ouvrages d'eau. De même, l'occurrence des maladies hydriques a été cartographiée et des analyses menées dans l'environnement SIG. Par ailleurs, des entretiens avec les personnes ressources, acteurs de l'eau et les focus group organisés ont permis d'appréhender les déterminants de pollution. Ce qui a permis d'identifier les Forces, les Faiblesses, les Opportunités et les Menaces (FFOM) dans le secteur de l'AEPHA. Les résultats présentés démontrent certaines capacités des SIG dans la manipulation et la gestion des données relatives à la gestion intégrée des ressources en eau. Les SIG constituent de nos jours un outil indispensable pour la manipulation et l'exécution des tâches qui sont capitales pour l'obtention de résultats efficaces et précis. L'intérêt des SIG est d'intégrer des données géographiques localisées, ce qui autorise de multiples possibilités de croisement et de corrélation entre des variables qui sont à l'origine de source et de nature bien souvent différentes (topographie, végétation, plans d'occupation des sols, données démographiques, économiques, sociales, localisation des équipements). La détermination des différents sites favorables à l'implantation de forages est très capitale dans la mesure où cette action permet de réduire les risques d'échec, le temps d'exécution des travaux de construction et offre aux bénéficiaires des conditions de vie meilleure. Notons que dans le cadre de cette recherche, cette détermination a été opérée à partir du potentiel en eau souterraine et hydrodynamique. En ce qui concerne le potentiel en eau souterraine, des paramètres comme la densité des linéaments, l'épaisseur d'altérite, la lithologie, la densité de drainage, la pluviométrie et la topographie ont été combinées pour ressortir la carte d'aptitude hydrogéologique de la Commune. En effet, le potentiel hydrogéologique montre que 26,77 % de la superficie totale affiche un bon potentiel hydrogéologique ; 38,3 % un potentiel moyen ; 23,88 % un potentiel passable et 11,03 % un potentiel faible.

Le potentiel hydrodynamique est le produit final issu de la synthèse des paramètres tels que la transmissivité des forages, le débit d'exploitation des forages et le niveau statique des puits à grand diamètre. Ainsi, 11,50 % de la superficie communale occupent un potentiel hydrodynamique faible, 34,86 % un potentiel hydrodynamique passable, 34,2 % un potentiel hydrodynamique moyen et 19,42 % un potentiel hydrodynamique bon. La télédétection, les SIG et l'analyse multicritère présentent de nombreux atouts, car ces outils apportent des solutions idoines aux multiples problèmes liés à la gestion des ressources en eau. Cependant, ces outils présentent des limites. Ainsi, l'estimation des paramètres manque souvent de précision du fait de l'insuffisance ou de l'absence totale de données en certains endroits. Les principaux obstacles rencontrés portent essentiellement sur la non acquisition de certaines données notamment les images aster ayant une résolution de 30 m et radars pour mener des opérations SIG plus approfondies et avoir plus d'informations. Les mauvaises pratiques élémentaires d'hygiène et d'assainissement de base autour des sources d'approvisionnement en eau sont autant de facteurs qui contribuent largement à la pollution de ces sources. Ainsi, les activités domestiques (lessive et vaisselle) et les travaux champêtres sont exercés non loin de certains ouvrages d'eau. De même, la construction des fosses septiques, des latrines et les dépotoirs sauvages d'ordures ménagères à proximité des points d'eau surtout les ouvrages hydrauliques entraînent leur contamination directe et les rendent vulnérables à la pollution. Les animaux divaguent et laissent leurs matières fécales dans les périmètres immédiats de certains ouvrages d'eau. L'eau de ruissellement et autres impuretés pénètrent facilement dans certains ouvrages d'eau (puits à ciel ouvert, retenues d'eau, mares et les rivières). La plupart des comités de gestion installés pour veiller aux respects des règles d'hygiène et d'assainissement ne fonctionnent pas correctement et les ouvrages sont abandonnés et exposés aux diverses menaces et intempéries naturelles dans la Commune. A la lumière de tout ce qui précède, l'hypothèse principale selon laquelle : '' *Les actions anthropiques et les éléments de l'environnement contribuent à la pollution des sources d'approvisionnement en eau*'' est vérifiée.

Ce travail de recherche souhaite que les études futures abordent quelques aspects liés à la gestion des ressources en eau que sont :

- mettre en place un système de suivi de pollution des nappes ;
- identifier les zones de recharge des nappes ;
- étudier d'une manière dynamique les apports pluviométriques sur une longue période en termes de ruissellement et de recharge de la nappe souterraine. Ainsi, les phénomènes d'évapotranspiration doivent être intégrés dans le modèle de calcul. Ces

paramètres permettront de parfaire le modèle d'estimation pour avoir des débits les plus fiables possibles et de suivre la ressource dans le temps ;

- utiliser les SIG pour un meilleur suivi des ressources en eau dans le temps ;
- exploiter les images de hautes résolutions telles que Quickbird de résolution 0,6 m, Ikonos de résolution spatiale 1m dans le suivi et la recherche des points d'eau en abondance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdalla F., 2012. Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques : A case study from the Central Easten Desert, Egypt ‘’. Journal of African Earth Sciences : 70 (2012) 8-17.

Aboudou L., 1987. Le rôle de Kandi dans le Borgou Nord. Mémoire de maîtrise de Géographie FLASH/UNB, Abomey- Calavi, 116p.

Adam K S., Boko M., 1993. Le Bénin. Paris, Edicef, 2ième édition, 93 pages.

Adjinacou C., Onibon H., 2004. Etude multisectorielle pour le développement durable dans la portion béninoise du bassin du fleuve Niger : analyse des opportunités et des contraintes. Autorité du Bassin du fleuve Niger (ABN) / DG-Eau, Cotonou, 176p.

Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G., Soro N., Biemi J., 2013. Evolution spatio-Temporelle des Teneurs en Nitrates des Eaux Souterraines de la Ville d’Abidjan (Côte d’Ivoire) ; université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM). Université Technologique et Tertiaire Loko (UTTLOKO), Laboratoire de chimie et de Microbiologie, 60p.

Aissi M. J., 1992. Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Mémoire en APE, CPU/UNB, Abomey-Calavi, 67p.

Allagbé H., 2005. Impacts des inondations sur la santé des populations de l’arrondissement de Godomey (Commune d’Abomey-Calavi). Mémoire de DEA, EDP/ FLASH, 73 p.

Alassane A., 2004. Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Bénin) : identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle ‘’. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 145p.

Alidou S., 1986. Etude géologique du bassin paléomésozoique de Kandi. UNB / Université de Dijon, pour l’obtention du grade de docteur es-science, 328p.

Arnaud J. L., 2008. Analyse spatiale, Cartographie et Histoire urbaine, Collection Parcours méditerranéens, série Territoires, traces et tracés, Editions Parenthèses-MMSH, ISBN-2-86364-154-5. 233p.

Amoussou E., 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l’Ouest). Thèse de doctorat de l’Université de Bourgogne, France, 315 p.

Arreghini L., Mazurek H., 2004. Territoire, risque et mondialisation. Quelques réflexions à partir du cas des pays andins, Espace tropicaux et risques : du local au global, G. David, Orléans, IRD-Presses Universitaires d'Orléans, pp240 - 258.

Arouna O., 2012. Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l’aménagement du

territoire. Thèse de Doctorat, Option : Géographie et Gestion de l'Environnement. Université d'Abomey Calavi, 246p.

Assani Kpasselokohinto A. A. M. R., 1995. Qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la Sous- Préfecture de Grand-Popo. Mémoire IRSP, Cotonou, 125p.

Assouma I. D., Oussou L. A., 2001. Contribution à l'étude des déterminants de l'eau à usages domestique dans la Sous-Préfecture de Kpomassè. Mémoire de Maîtrise Professionnelle de Géographie, DGAT/FLASH/UAC, 67p+annexes.

Assouma I. D., 2003. Qualité de l'eau de puits dans la Circonscription Urbaine de Kandi. Mémoire de Géographie, DGAT/FLASH/UAC, 92p+annexes.

Assouma I. D., 2004. Contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la Commune de Kandi. Mémoire de DESS en Décentralisation et Gestion des Eaux / IMSP, Université Abomey-Calavi.70p+Annexes.

Assouma I. D., 2011. Une approche SIG à l'évaluation de la qualité physico chimique de l'eau de boisson à Kandi au Bénin. Mémoire de DESS/RECTAS Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé Ifè, Nigéria, 71p.

Assouma I. D., Houssou C. S., 2016. Qualité physico-chimique de l'eau de boisson à Kandi au Nord du Bénin. Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales. *Afrique* SCIENCE ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info *376 – 383.*

Attolou S. F. B., 2011. L'accessibilité géographique des Populations aux centres de santé dans la Commune de Savalou au Bénin. Mémoire de DESS/RECTAS Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé Ifè, Nigéria, 70p.

Awoyé R., 2007. ''Modélisation du bilan hydrologique du bassin versant du Klou : contribution à la gestion durable des ressources en eau dans le Zou ''. Thèse d'ingénieur FSA/UAC, Bénin, p. 100.

Babadjide C. L., Vissin E. W., Ouassa Kouaro M., Adekambi A. C. K., 2013. Qualité d'eau consommée par la population et les maladies hydriques dans la Commune de Kétou (Bénin) ; *Département de Sociologie Anthropologie, Université d'Abomey-Calavi. 10 BP : 875 Cotonou Bénin ; Laboratoire Pierre PAGNEY- Climat, Eau, Ecosystèmes et développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03-BP 1122, Cotonou-03, Bénin. 6p.*

Beck M. B., Adeloye A. J., Finney B. A., Lessard P., 1991. "Operational water quality management: transients' events and seasonal variability". Water, Sci Technol. 24, 6, pp 257-265.

Benouis K., Benabderrahmane M., Harrache - Chettouh D., Benabdeli K., 2008. Peut-on boire les eaux de bains maures Hammam ? Cas des bains de la ville de Sidi-Bel- Abbès. *Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones / Santé*, 18(2): 63-66.

Biémi J., Deslandes, S., Gwyn, Q. H. J., Jourda, P., 1991a. Influence des linéaments sur la productivité des forages dans le bassin versant de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire): Apport

de la télédétection et d'un système d'information à référence spatiale. In: *Télédétection et Gestions des Ressources*, vol. 7, Association Québécoise de Télédétection, pp 41-49.

Biemi J., 1992. ‘’Contribution à l’étude géologique, hydrogéologique et par Télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d’Afrique de l’Ouest Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d’Ivoire)‘’. Thèse d’Etat Université Nationale de Côte d’Ivoire, 480p.

Bio B. B. J., 2015. Contribution à l’amélioration de l’approvisionnement en eau potable et assainissement dans le bassin cotonnier de la Commune de Banikoara. Mémoire de DESS/UP, Université de Parakou, Bénin. 97p.

Bissonet P., Empereur., Coll., 1992. Application d’un nouveau matériel de transport de stockage pour l’amélioration de la qualité de l’eau de boisson en milieu rural africain. Bulletin de la société de pathologie exotique, N°85, PP. 390-394.

Boko M., Guiwa C., Perard J., Courel M. F., Chamard P-C., le Rhun J., Togola M., Jacqueminet C., 1992. Evolution hydro-pluviométrique récente du delta intérieur du Niger (Mali). *Publication de l’association Internationale de Climatologie*, vol. 5, Aix-en-Provence, pp 43-52.

Boko M., 2004. ‘’Gestion des risques hydro-climatiques et développement économique durable dans le bassin du Zou‘’. Rapport d’étude Cotonou Bénin. 51p.

Bossa Y. A., 2007. Modélisation du bilan hydrologique dans le bassin du Zou à l’exutoire d’Atchérigbé: Contribution à l’utilisation durable des ressources en eau‘’. Thèse d’ingénieur FSA/UAC, Bénin pp71-91.

Boubakar H. A., 2010. Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la Communauté urbaine de Niamey (NIGER). Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, 249p.

Boukari M., 1982. ‘’Contribution à l’étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique intertropicale : l'Hydrogéologie de la région de Dassa-Zoume (Bénin) ‘’. Thèse 3ème cycle, Université de Dakar, Sénégal, p173.

Boukari M., 1998. ‘’Fonctionnement du système aquifère exploité pour l’Approvisionnement en Eau de la ville de Cotonou sur le littoral Béninois. Impacte du développement urbain sur la qualité des ressources‘’. Thèse 3ème cycle, Université Cheik Anta Diop, Dakar, Sénégal, p256.

Bontoux J., 1993. Introduction à l’étude des eaux douces : Eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Qualité & Santé. CEBEDOC sprl, Liège, pp79-86.

Brown R. H., Duda G. D., Korkes S., Handler P., 1957. A colorimetric micromethod for determination of ammonia; the ammonia content of rat tissues and human plasma. Arch Biochem Biophys, 66, 301-309.

Cartensen, J., Vanrolleghem, P., Rauch, W., Reichert, P., 1997. "Terminology and

methodology in modelling for water quality management" a discussion paper In : Watermatex 97-Towards a New Agenda, pp.369-380.

Castany G., 1998. ‘’Hydrogéologie ; Principes et méthodes ‘’. 2e Cycle ; DUNOD p94- 167.

CeRPA Borgou - Alibori., 2009. Rapport annuel d’activité pêche et pisciculture (campagne 2009), 6p.

Chabi K. Y. B., 2012. Impacts des inondations sur l’approvisionnement en eau potable dans l’arrondissement de Godomey (Commune d’Abomey-Calavi). Mémoire de Master II, gestion de l’environnement. CIFRED/UAC, 86 p.

Chapelon L., 2004. Impact des spécifications, du réseau routier sur les calculs d’accessibilité Données sources méthodes, Edition CERTU, 41p.

Chapman D., Kimstach V., 1996. Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, pp. 59-126.

Chippaux J. P., Pernot C., Jouanneau D., Ciornei G., Moulin-Esnart P., Couret D., 2007. Evaluation de la potabilité de l’eau dans une zone peuplée du Sahel sénégalais : Niakhar. *Environnement, Risques & Santé,* 6(5): 373-381.

Charlet F., Bamory, D., 1985. Expérimentation de solution en vue d’améliorer la qualité de l’eau à domicile en milieu rural. Eau et santé Abidjan, INSP, SNES, pp. 85-88.

Chorowicz J., 1984. ‘’Importance of pattern recognition for geological remote sensing applications and new look at geological maps‘’. In: Remote sensing for geological Mapping, & weber eds, documents BRGM, 82, p29-56.

Cissé G., 1997. Impact Sanitaire de l'Utilisation d'Eaux Usées Polluées en Agriculture Urbaine: Cas du maraîchage à Ouagadougou (Burkina Faso). Mémoire de thèse, EPFL, Lausanne. pp 208-211.

Clégbaza G., 2000. Qualité de l'eau et technique de désinfection. DHAB/MSP, Cotonou, 27p.

Collet C., 1992 : Systèmes d'Information Géographique en Mode Image. Presses polytechniques et universitaires romandes - Lausanne, 183p.

Comlanvi F. M., 1994. Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou : Cas de quelques quartiers. Mémoire APE/ CPU/UNB, Abomey-Calavi, 78p.

Dauphiné A., 2001. Risque et catastrophe : observer-spatialiser-comprendre-gérer. Editions Armand colin. 288 pp.

Degnidé A. M., 2004. Pollution des puits domestiques de Porto-Novo : Etude de quelques quartiers situés en bas de pente. Mémoire de DESS en Décentralisation et Gestion des Eaux / IMSP, Université Abomey-Calavi. 74p+Annexes.

Dégbey C., Makoutode M., Ouendo E. M., Fayomi B., de Brouwer C., 2008. La qualité de

l'eau de puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin. Environnement, Risques et Santé. p279- 283.

Dégbey C., Makoutode M., Fayomi B., De Brouwer C., 2010. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest. J. Int Santé Trav 2010;1:15- 22.

Démonlé A., 1991. Activités humaines et dégradation de l'environnement dans la Commune Urbaine de Kandi. Mémoire de Géographie, FLASH / UNB, Abomey-Calavi, 80p.

Dewandel B., Lachassagne, P., Wyns, R., Marechal, J.C., Krishnamurthy, N. S., 2006. A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. Journal of Hydrology, 330, 260-284, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.03.026.

Direction Générale de l'Eau (DG Eau)., 2010. Mise en place d'un dispositif de protection des zones de captage d'eau potable. Annexes au Guide méthodologique à l'usage des Communes. République du Bénin, Ministère de l'Energie et de l'Eau, Cotonou.134p.

Direction Générale de l'Hydraulique (DGH)., 2005. "Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural du Benin 2005-2015". République du Bénin, 21p.

Diallo S. C., 2008. Cartographie des caractéristiques physiques et chimiques des nappes d'eau Souterraine du sud-ouest du Burkina Faso. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'équipement rural. 2iE Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 74p.

Dibi B., 2008. ''Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (sud-est de la Côte d'Ivoire) apport du SIG et de l'analyse multicritère''. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody. Pp 209-215.

Dieng M., 2014. Accessibilité géographique aux services publics dans le Département de Dakar (Sénégal), Mémoire de fin de formation pour l'obtention du Diplôme Universitaire de Technologie en Production et Gestion de l'Information Géographique, RECTAS, CAMPUS UNIVERSITAIRE OBAFEMI AWOLOWO ILE-IFE, OSUN STATE, NIGERIA, 82p.

Djafarou A. I., TOHOZIN C. A. B., & AGBO F. B., 2013. Système d'Information Géographique et qualité physico-chimique de l'eau de boisson à Kandi, Bénin. *Association pour la Promotion de l'Intercommunalité dans le Département de l'Alibori (APIDA), RECTAS (Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux), PMB 5545, Ilé-Ifè, Obafemi Awolowo University, Nigéria. International Formulae Group. All rights reserved.* DOI : http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.32. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(5): 2165-2177. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print).

Djafarou A. I., Christophe S. H., Abib Guimmongui S. O. B., & Sabi Bédari B.Y., 2016. "Spatial distribution of the hydraulic infrastructures in the municipality of Kandi in the North of Benin," *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 26, no. 2, pp. 516–532.

Dossa B., 2002. Analyse et Esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue. Mémoire de DESS, FAST, UAC. 81 p.

Doyelle C., 2008. Irrigation adduction d'eau potable redynamisation économique, Stage de deuxième année. ISTOM, agro-développement international, Togbota - Bénin, 64 p.

Dovonou L. F., 2001. Rapport définitif de l'étude physico-chimique des eaux des départements de l'Alibori et du Borgou. Départements des ressources en eau. Projet PADEAR-DANIDA, Cotonou, 78p.

Dupont, J., Smitz, J., Rousseau, A. N., Mailhot A & Gangbazo G., 1998. "Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau". Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 11, p. 5-18.

El Hadani D., 1997. Télédétection et système d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau publication, 8p.

Evens E., Landskoy P., 2000. Regards sur la situation des ressources en eau de la république d'Haïti, 27p.

Fabre R., Truhaht R., 1961. Précis de Toxicologie, Tome 2 CEDES, Paris. pp27-31.

Franquin P., 1969. Analyse agro-climatique en régions tropicales. Saison pluvieuse et saison humide. Applications. *Cah. ORSTOM, sér. Biol*. 9 : 65-95pp.
Galal-Gorchev H., 1992. Evaluation des risques liés aux substances chimiques dans l'eau de boisson : élaboration des valeurs guides. *Santé Publique*, 4: 80-83.

GEM., 2002. Terminologie en science, d'après le document de travail du colloque international, Dire le risques : le risque mis en examen. Mèze, 18-20 mai 2001, par Chloé Griot et Pierre Alain Ayral (EMA) ; 83 p.

Guene O., 2003. Stratégie de Gestion des déchets solides à Nouakchott, Communauté Urbaine de Nouakchott, pp19-21.

Géohydraulique., 1985. ‘’Notice descriptive de la carte Hydrogéologique du Bassin Sédimentaire côtier du Bénin à l'échelle 1/200 000è ‘’.

Grootes P. M., Stuiver, M., Thompson, L.G & Mosley -Thompson E., 1989. ‘’Oxygen isotope changes in tropical ice, ûuelccaya, Peru‘’. J. Geophys. R., vol. 94, n° D1, 1187-1194.

Harang M., 2007. "Système de soins et croissance urbaine dans une ville en mutation : Le cas de Ouagadougou (Burkina Faso)", Thèse de doctorat de l'Université de Paris X Nanterre en Géographie de la santé, 507 p.

Herbst S. et *al*,. 2009. Perceptions of water, sanitation and health: a case study from the Mekong Delta, Vietnam. Water Science & Technology WST. pp 699–707.

Himyari S., et *al.*, 2002. Etude structurale du haut atlas oriental (Maroc) à l'aide de l'analyse linéamentaire des images HRV (XS) de Spot. *Télédétection*, vol. 2, n°4, pp. 243-253.

Houndénou C., 1999. Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide, diagnostic et modélisation. UMR 50 80 du CNRS, climatologie de l'espace tropicale, 341 p.

Houndji S., Togonou Z. C., 1992. Les eaux souterraines, pollution des puits artisanaux et modernes : cas du cordon littoral à l'est du chenal de Cotonou. Mémoire de Géographie, FLASH / UNB, Abomey-Calavi, 80p.

Hostache R., 2006. Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique. Thèse ENGRED, Ecole doctorale, Spécialité Science de l'eau / Montpelier, 256 p.

Hounguevou S. C. G., 2013. Utilisation du SIG dans l'accessibilité des populations aux infrastructures hydrauliques dans la commune de Zè. Mémoire de DESS en SIG au RECTAS, Obafemi Awolowo University à Ile-Ife au Nigeria, 65 p.

Hounguevou S. C. G, Tohozin C. A. B, Soumah M, Attolou S. F. B. 2014a. Approche SIG pour une analyse spatiale des Infrastructures hydrauliques dans la Commune de Zè, Benin, RECTAS, Obafemi Awolowo University Campus. Off Road1, PMB: 5545, Ile-Ife. Osun State, Nigéria. Journal of Applied Biosciences 73:5949-5958, ISSN 1997-5902, 10p.

Hounguevou S. C. G, Tohozin C. A. B, Soumah M, Toko M. I. 2014b. SIG et distribution spatiale des infrastructures hydrauliques dans la commune de Zè au Benin. RECTAS, Obafemi Awolowo University Campus. Off Road1, PMB: 5545, Ile-Ife. Osun State, Nigéria. Afrique Science 10(2) 213-227, SSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info, 15p.

Hugues D., Philippe de Leener., 1990. Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage (manuel tropical). Edition Terre et Vie, CTA, l'harmattan, ENDA. ISBN 2 -87105-009-X, pp64-65.

INSAE / RGPH3., 2003. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation ; analyse des résultats, tome 1 : répartition spatiale, structure par sexe et par âge et migration de la population au Bénin, 236 p.

INSAE / RGPH4., 2013. Résultats provisoires du RGPH4, Cotonou, Bénin, 8p.

INSAE / RGPH4., 2015. Que retenir des effectifs de population en 2013 ? Direction des Etudes Démographiques (DED), Cotonou, Bénin, 35 p.

ISTED., 2002. Système d'Information Géographique et gestion durable de l'eau, DRAST/METLTM, 7p.

Jacqueminet C., 1992. Evolution hydro-pluviométrique récente du delta intérieur du Niger (Mali). *Publication de l'association Internationale de Climatologie*, vol. 5, Aix-en-Provence, pp 43-52.

Jagals P., Nala N. P., Tsubane T. J., Moabi M., Motaung K. C., 2004. Measuring changes in water-related health and hygiene practices by developing-community households. Water Sci Technol pp50-91.

Jayasheel E. et *al.,* 2009. Is fecal contamination of drinking water after collection associated

with household water handling and hygiene practices ? A study of urban slum households in Hyderabad, India. Journal of water and health. pp145-154.

Jourda, J. P., 2005. Méthodologies d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale. Cas de la zone test de Korhogo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Cocody, Abidjan 402p.

Kanohin F., Saley M. B. et *al.*, 2012. Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte D'Ivoire) International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 1 pp. 35-53.

Kientga S., 2008. Contribution du SIG à l'analyse des liens déchets-santé en milieu urbain dans les pays en développement. Cas de deux secteurs de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso, Thèse Ecole polytechnique fédérale de Lausanne à la faculté environnement naturel, architectural et construit. Laboratoire de systèmes d'information géographique, 241p.

Kiki M., 1993. La problématique de la gestion des déchets dans les mégalopoles africaines et perspectives d'avenir : cas de la ville de Cotonou. Thèse de médecine FSS-UNB, Bénin. 90p

Kjellstrom T., Mercado S., Sattherthwaite D., Mcgranahan G., Friel S., Havemann K., 2007. Our cities, our health, our future: Acting on social determinants for health equity in urban settings. Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health from the Knowledge Network on Urban Settings, Kobe Japan, 70 p.

Kodja, D., Vissin, E. W., Amoussou, E., 2012. '' Prévisibilité des hautes eaux avec le modèle conceptuel GR2M dans le bassin-versant du Zou au Benin. (Afrique l'ouest), les climats régionaux : observation et modélisation, actes du XXVème colloque de l'AIC, Grenoble, France 415-420

Kouamé K. F., Lasm, T., Saley, M. B., Tonyé, E., Bernier, M., Wasde, S., 2009. ''Extraction linémentaires par morphologie mathématique sur une image RSO de RADARSAT-1 : application au socle Archéen de la Côte d'Ivoire''. Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF, Alger, pp 12-15.

Kouassi, E. A., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., Soro, G., Soro, N., Biemi, J., 2013. '' Fonctionnement hydrodynamique des aquifères discontinus de la région d'Abidjan-Agboville (Sud de la Côte D'ivoire) ''. International Journal of Geography and Geology, 2(5):52-69.

Koudoufio A. E., 2011. Problématique d'approvisionnement en eau potable dans la Commune de Dogbo. Mémoire de DEA, FLASH, UAC, 83 p.

Kouhoundji N., 2012. Utilisation des SIG dans l'étude de la répartition géographique des crevettes penaeidae dans le lac Nokoué à So-ava (Bénin). Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin. Faculté des Sciences et Techniques (FAST). Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA - Chaire UNESCO), pp 105-113.

Lasm T., 2000. ''Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : analyses statistique et

géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montages de Côte d'Ivoire (domaine archéen) ''. Thèse de l'Université de Poitiers, France, 274 p.

Lagnika M., Moudachirou I., Jean-Pierre C., Valentin D., Nestor G., 2014. Caractéristiques physicochimiques de l'eau des puits dans la Commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest). Journal of Appelied Biosciences 79 : 6887-6897. ISSN 1997-5902.

Le Barbe, L., Alle G., Millet, B., Borel, Y., Gualde R. 1993. ''Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin ''. ORSTOM Editions, Paris, 540p.

Leclerc H., Mossel D. A. A., 1989. Microbiologie : le tube digestif l'eau et les aliments, éd DOIN, Paris, 513p.

Lessard L., 1964. Hydrogéologie du bassin sédimentaire de Kandi. Cotonou, ONU/PNUD, 84p.

Leynaud G., 1968. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.

Liebhart W.C., Golt C., Tupin J., 1979. Nitrate and ammonium concentrations of ground water resulting from poultry manure applications. J. Environ Qual, 8, 211-215.

Luneau G., 2006. Spatialisation de l'aléa érosion des sols en Nouvelle Calédonie : Méthodologie définie sur les Communes de Dumbea, Païta et Boulouparis. Rapport, 76 p.

Magbondé A. E., 2004. Contribution à l'alimentation en eau potable dans la Commune de Sô-Ava : cas de Ganvié dans le contexte de la décentralisation. DESS en Décentralisation et Gestion des Eaux ; IMSP/UAC, 82p+Annexes.

Magesh, N. S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J. P., 2012. ''Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques''. Geoscience Frontiers. doi:10.1016/j.gsf.2011.10.007.

Mahamat S. A. M., Maoudombaye T., Abdelsalam T., Ndoumtamia G., Loukhman B., 2015. Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique de la Société Tchadienne des Eaux à N'djamena au Tchad. Journal of Applied Biosciences 95:8973 – 8980. ISSN 1997–5902. 8p.

Maliki R., 1993. Etude hydrogéologique du littoral béninois dans la région de Cotonou (A.O.). Dakar: Thèse de Doctorat du 3ème cycle. UCAD, 162p + annexes.

Mama D., 2010. ''Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin) ''. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de LIMOGES, France, p177+Annexes.

Manche Y., 2000. Analyse spatiale et mise en place de système d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques, mémoire de thèse, Joseph Fourier - Grenoble I, Grenoble pp 147-152.

Maurizot P., Delfau M., 1995. Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle Calédonie, Rapport R 38660, 72 p.

Maystre L. Y., Krayenbhl L., 1993. Approvisionnement en eau potable. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse, 149p.

Meijerink, A. M. J., 2007. ''Remote sensing applications to groundwater ''. IHP-VI, series on groundwater no. 16, UNESCO, pp 56-71.

Mickael S., Boniface Y., Honor S., Roger G., Henri S., 2010. Impacts des déchets de l'abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2010) 030, 79-91.

Molbak K., Hojlyng N., Jepson S., 1989. Bacterial contamination of stored water and stored ford: a potential source of diarrhoel in West Africa. Epidemiol Infect. pp309 -326.

Mouchet J., 1991. Les maladies liées à l'eau dans la région Afro-tropicale. Colloque pluridisciplinaire Géographie-Médecine sur l'eau et la santé en Afrique tropicale, Limoges, octobre, PULIM, pp. 47-59.

Moukolo N., 1993. Contrôles systématiques de la qualité des eaux naturelles au Congo : quelques résultats du laboratoire d'hydraulique de l'ORSTIM/DGRST de Brazzaville. Bulletin de liaison du CIEA, N°90, pp11-21.

Natiy R., Riggio R., 1989. ''Meteorologie and isotopic characteristics of precipitation events with implications for groundwater recharge, southern High Plains ''. Atm. Research, 23, 51-82.

Ndatuwong L. G., Yadav, G. S., 2014. ''Integration of Hydrogeological Factors for Identification of Groundwater Potential Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques ''. Journal of Geosciences and Geomatics, 2014, Vol. 2, No. 1, 11-16. DOI:10.12691/jgg-2-1-2

Nguimal C.R.**,** Balikouzou-Hinna D.A., Rasoanantoandro M. C., Bassebe G. Semballa S., 2005. Gestion de la qualité de l'eau, conflits et risques dans la ville de Bangui (République centrafricaine). *Géocarrefour*, 80(4): 325-334.

Oikonomidis D., Dimogianni S., Kazakis N., Voudouris K., 2015. ''A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece''. Journal of Hydrology 525 (2015) 197-208.

Oga M. S., 1998. Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire) Approche Hydrochimique et Isotopique. *Thèse de Doctorat de l'Université de Paris Orsay*, 240 p.

OMS., 1986. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume II, critères d'hygiène et documentation à l'appui. OMS, Genève, Suisse, 341p.

OMS., 1994. Directives de la qualité pour les eaux de boisson. Volume 1, recommandation, pp 87-125.

OMS., 2001. « Communiquer par carte : le paludisme, système de pré-alerte concepts, indicateurs et partenaires », Organisation Mondiale de la Santé. pp53-67.

OMS., 2002. Rapport sur la santé dans le monde en 2002 : Réduire les risques et promouvoir une vie saine, OMS, Genève. pp55-71.

OMS., 2004. Directives de qualité pour l'eau de boisson, 3ème éd., vol. 1, recommandations. Genève, 511 p.

OMS., 2011. Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres. Genève, pp201-236.

Othingue N. O., 2005. Etude épidémiologique et spatiale du paludisme en milieu urbain au Sahel : N'Djaména, Tchad, Docteur en philosophie, Université de Bales, pp101-106.

Oumorou M., 2003. Etudes écologique, floristique, phytogéographique et phyto-sociologique des inselbergs du Bénin. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 210 p + annexe.

Oussou F. E., 2015. Analyse spatiale de la disponibilité des ressources en eau souterraine dans le bassin du zou au Bénin. Mémoire de DESS/RECTAS Campus/Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé Ifè, Nigéria, 81p.

Pitts R. F., 1971. The role of ammonia production and excretion in regulation of acid-base balance. N Engl J Med, 284, 32-38.

Poda J. N., Gagliardi R., Franck O. K., Niameogo A. T., 2007. La perception des populations des maladies diarrhéiques au Burkina Faso : une piste pour l'éducation aux problèmes de santé. *VertigO. La Revue en Sciences de l'Environnement*, 4(1): 1-6p.

Pofagi M., Tonouewa A., 2001. Renversement de la tendance à la dégradation des terres et des eaux dans le bassin béninois du fleuve Niger. PNUD, ABN., 115p.

Porter C**.,** 2011. Les experts de la santé publique notent une amélioration au XXIe siècle. Bureau des Programmes d'information internationale du Département d'Etat, 37p.

Poulard C., Chastan B., Royet P., Degoutte G., Grelot F., Erdlenbruch K., Nedele C., 2009. *Prévention des inondations par ralentissement dynamique : Principe et recommandations.* Ingénierie N° spécial ; p 5-24.

Rakotomanana F. et *al.*, 2001. « Approche géographique dans la lutte contre le paludisme dans la région des Hautes Terres Centrales à Madagascar », Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar, vol. 67, pp27-30.

Ranjbar, H., Honarmand, M., Moezifar, Z., 2004. "Analysis of ETM+ and Airborne Geophysical Data for Exploration of Porphyry Type Deposits in the Central Iranian Volcanic Belt, Using Fuzzy Classification. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS applications, and Geology III"W, SPIE,* pp 165-173.

Rouamba J., 2001. La cartographie comme moyen de lecture de la dynamique du paludisme dans la province du Houet., Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Ouagadougou,

pp69-70.

Saab H. B., Nassif N., El Samrani A. G., Daoud R., Medawar S., Ouaïni N., 2007. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 20(4): 341-352.

Saley M. B., 2003. Système d'information hydrogéologique à référence spatiale, discontinuité pseudoimage et cartographie thématique des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de doctorat, université de Cocody, 209 p.

Saliou A. R., 2015. Modélisation prédictive et cartographie de la dynamique des parcours de transhumance dans le contexte de variabilités climatiques dans le moyen-bénin. Thèse de Doctorat, Option : Géographie et Gestion de l'Environnement. Université d'Abomey Calavi, 271p.

Salvatore F., Bocchinti V., Cimino F., 1963. Ammonia intoxication and its effects on brain ammonia levels. Biochem Pharmacol, 12, 1-6.

Samman L. M., 1998. " Education et sensibilisation aux interrelations entre la dynamique de la population et les besoins en eau ''. *Congrès international de Kaslik-Liban*, 8p.

Savadogo, A. N., 1984. ''Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de haute volta : Etude régionale du bassin versant de la sissili ''. Thèse Doctorat ès sciences naturelles, Université de Grenoble pp102-157.

Sawagogo G. C., 2008. Les systèmes d'information géographique dans la détermination des sites propices à l'implantation de château d'eau : cas de la zone résidentielle de l'université Obafemi Awolowo. Mémoire pour l'obtention de technicien en production et gestion de l'information géographique / RECTAS Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé Ifè, Nigéria, 40p.

SBEE., 2003. Plan d'investissement actualisé : Système d'AEP de Kandi période 2003-2012. Plan Directeur Eau tome V.2.2. SBEE/GFI/GTZ ; Cotonou, 35p+annexes.

Schwartz D., 1995. Méthode statistique à l'usage des médecins et des biologistes. 4è édition, éditions médicinales, Flammarion, Paris, 214 p.

Sinsin B., 1993. Phytosociologie, écologie, valeur pastorale et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Section inter-facultaire d'Agronomie et de Phytosociologie, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 390 p.

Sintondji, L. O., Agbossou, E. K., Degnissode, B., 2013. '' Dynamique de dégradation des forêts galeries et comblement du cours d'eau Agbado dans le département des Collines au Bénin''. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(4): 1555-1567, August 2013, issn 1991-8631.

Smida H., Zairi M., Trabelsi R., Ben Dhia H., 2006. Identification de zones de recharge induite d'aquifères à l'aide d'un Système d'information géographique : cas de la nappe de Chaffar (Sud-Est tunisien).Science et changements planétaires, Sécheresse. 17 (3), 433-42.

Smida H., Abdellaoui C., Zairi M., Dhia H. B., 2010. Cartographie des zones vulnérables à la pollution agricole par la méthode DRASTIC couplée à un Système d'information géographique (SIG) : cas de la nappe phréatique de Chaffar (sud de Sfax, Tunisie). Science et Changements/Planétaires/ Sécheresse, 21(2): 131-146.

Sonntag C., Thorweihe L., Rudolph J., Lohnert E. P., Junghans C. H. R., Munnich K. O., Swailem F. M., 1980. ‘’Isotopic identification of saharian groundwaters, groundwater formation in the past. Palaeoeco‘’. Africa Sur. 1st. vol. 2, 159-171.

Soro N., Soro G., Ahoussi K. E., Saley M. B., Lasm T., Biemi J., 2007. Caractérisation spatio-temporelle des précipitations dans le «V» Baoulé (Centre de la Côte d’Ivoire) au cours de la période 1966-2000. *Journal Africain de Communication Scientifique et Technologique*, 2: 89-108.

Sreedhar G., Vijaya K. G.T., Murali K. I. V., Ercan K. Cüneyd D. M., 2009. ‘’Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS‘’. Advances in Engineering Software : 40, 506–518.

Summerskill W. H. J., Wolpert E., 1970. Ammonia metabolism in the gut. Am J Clin Nutr, 23, 5, 633-639.

SY I., Koita M., Traore D., Keita M. L. O. B., Tanner M., Cisse G., 2011. Vulnérabilité sanitaire et environnementale dans les quartiers défavorisés de Nouakchott (Mauritanie) : analyse des conditions d’émergence et de développement de maladies en milieu urbain sahélien, *Vertig O*, Volume 11, Numéro 2. Pp. 554-562.

Theriault M., Prelaz-Droux R., 2001 : « SIG et développement du territoire », Revue internationale de Géomatique, vol. 11, p. 300-474.

Torterotot J. P. H., 1993. Le coût des dommages dus aux inondations-Estimation et analyse des incertitudes. Thèse de doctorat, ENPC en Sciences et Technique de l’Environnement, Paris, 288p.

Traoré A. Z., 1985. ‘’Géologie et hydrogéologie des plateaux mandingues (Mali). Région de Koula-Nossombougou ‘’. Thèse de 3ème cycle Université scientifique, technique et médicale de Grenoble. Pp102-127.

Trochain J. L., Blasco, F., Puig, H., 1980. Ecologie Végétale de la zone intertropicale non désertique. Université Paul Sabatier, Toulouse, 468 p.

UNICEF., 2005. Etude de faisabilité des forages manuels : identification des zones potentiellement favorables, PRACTICA, pp 11-12.

Vissin W. E., 1998. Contribution à l’étude du fonctionnement hydrologique du bassin de la Sota. Mémoire de maîtrise 123 p. Université d’Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, 123 pages.

Vissin W. E., 2001 : Contribution à l’étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin Béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA, Université de Bourgogne, Dijon, 52 p.

Vissin W. E., 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France, 285 p.

Wang S. J et *al.*, 2005. « Rapid urban malaria appraisal (RUMA) in Sub-Sharan Africa », Malaria Journal, vol 4, 13p.

Waring S., et *al.*, 2005. The utility of Geographic Information Systems (GIS) in rapid epidemiological assessments following weather-related disasters: Methodological issues based on the Tropical Storm Allison experience, 8p.
WHO., 1987. Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring System, WHO/UNEP, pp 37-42.

Yalo N., Descloitres M., Vouillamoz J. M., Alle C., 2013. ‘’Delimitation of the salt wedge in the shallow coasted aquifer by TDEM method at Togbin (South Benin) ‘’. International Journal of science and Advanced Technology, vol 3 n°3, p21-29.

Yaméogo S., Sawagogo A. N., 2002. «Les ouvrages de captage de la ville de Ouagadougou et leur vulnérabilité à la pollution» Ouagadougou, Burkina Faso, EIER/ETSHER. 8p.

Yaméogo S., Sawadogo A. N., Nakolendousse S., Koussoubé Y., 2006. Spatial and temporal variations of groundwater pollution in Ougadougou city, Burkina Faso. Groundwater pollution in Africa, Redactors Yongxin Xu and Brent Usher, Editors Taylor et Francis / Balkema, Great-Britain, pp.157-167.

Yilma J. M., Malone J. B., 1998. A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia, p. 103 - 127.

Youan Ta, M., Lasm, T., Jourda, J. P., Kouamé K. F., Moumtaz R., 2008. ‘’Cartographie des accidents géologiques par imagéries satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d’Ivoire). Télédétection, Editions scientifiques GB, 2008, 8 (2), pp119-135.

Sites web consultés

http://www.institut-eau.com/fr/d-1-a_eau_corps_humain.asp

http://glcf.umd.edu/data

www.faoclim.net

ANNEXES

Annexe I : Questionnaires et guide d'entretien

Questionnaires aux ménages

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
1	Quelles sont les sources d'approvisionnement en eau que vous utilisez dans votre ménage ? (SOURCEAU)	Marigot, Lac, Rivières, Barrage Puits traditionnels Puits à grand diamètre Forage contre puits Forages (pompe) Borne fontaine/AEV Réseau SONEB	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/ 7-/_/
2	Votre source d'approvisionnement en eau, garde-t-elle de l'eau en permanence ? (PERMANEAU)	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
3	Si non à quel moment de l'année souffrez-vous de pénurie d'eau ? (PENERIE)	Novembre à décembre Janvier à février Mars-avril-mai	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
4	Où se trouve votre source d'eau ? (LOCALISATION)	Dans la concession Proche de la concession Loin de la concession	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
5	L'eau est-elle achetée au niveau des forages ? (ACHATEAU)	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
6	Si oui quel est le prix d'achat de l'eau ? (PRIXEAU)	10 f la bassine ou le bidon 25 f la bassine ou le bidon 50 f la bassine ou le bidon 100f la bassine ou le bidon	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
7	Comment appréciez-vous la gestion de l'eau au niveau des AEV et forages publics ? (GESTION EAU)	Mauvais Peu satisfaisant Satisfaisant Très satisfaisant Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/
8	Selon vous la mairie s'investit-elle dans l'approvisionnement en eau de la population ? (MAIRIEAU)	Oui Non Ne sais pas	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
9	Si non pourquoi dites-vous que la Mairie ne s'investit pas dans l'approvisionnement en eau? (NMAIREAU)	Forages insuffisants Mauvaise organisation de la gestion des forages Mauvaises répartition des forages Beaucoup de forage en panne	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4/_/
10	Si oui citez quelques actions de la mairie	Construction des forages Constructions des AEV Construction de puits à grands diamètre Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
11	Connaissez-vous des activités qui sont menées ou d'autres pratiques dans les abords des sources d'eau ? (ACTABORDOUVR)	Vaisselle Lessive Vaisselle + lessive Activité de lavage des noix Abreuvage des animaux Travaux champêtres Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/ 7-/_/
12	Quels sont les impacts de ces activités sur la ressource? (IMPACTS)	Tarissement Pollution Comblement Aucun	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
13	Quels autres acteurs utilisent la ressource en eau ? (ACTEUREAU)	Eleveurs Agriculteurs Maraichers	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
		Pêcheurs Autres	4-/_/ 5-/_/
14	Quels sont vos rapports avec les autres usagers ? (RAPPORTUSAGER)	Normal Méfiant Conflictuel	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
15	Quels sont les types de conflits? (TYPCONFLI)	Conflit entre même groupe d'utilisateurs Conflit entre différents groupes d'utilisateurs Conflits entre divers groupes ethniques Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
16	Comment sont gérés les conflits ? (GERECONFLI)	A l'amiable Chez le délégué Tribunal Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
17	Quelles sont les maladies fréquentes dans votre ménage? (MALADIMENAG)	Paludisme Diarrhée Choléra Parasitoses intestinales Bilharziose Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/

Hygiène et assainissement

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
1	Disposez-vous de latrine à domicile ? (DISPOLAT)	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
2	Si oui comment avez-vous acquis votre latrine? (AQUILAT)	Sur propres ressources Appui d'un projet Appui de la mairie Autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
3	Si non pourquoi n'avez–vous pas de latrine ? (NONLAT)**)**	Ignorance Latrine n'est une priorité Insuffisance de ressources Manque de compétences (maçons formés) Le propriétaire n'a pas fait de latrine La proximité de la brousse	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/
4	Existe-t-il un service de pré collecte des déchets dans le quartier/village? (COLLECTDECHET)	Oui Non Ne sais pas	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
5	Si oui êtes-vous abonné à la pré collecte des déchets ? (OABONNE)	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
6	Quel est le coût de l'abonnement à la pré collecte de déchets? (COUABONNE)	200 f/mois 500f/mois Plus de 500f/mois	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
7	Pourquoi n'êtes –vous pas abonné pour la pré collecte des déchets? (NABAONNE)	Insuffisances de moyens Mauvaises prestation des services de pré-collecte La pré collecte ne couvre pas le quartier Proximité de la brousse	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/

Questionnaires aux agriculteurs

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
1	Cultures irriguées	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
2	Superficie totale irriguée à partir de la ressource	Ha	
3	Spéculations pratiquées	(les citer)	
4	Utilisation d'engrais	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
5	Si oui, préciser les types et les doses		
6	Utilisation de pesticides	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
7	Si oui, préciser les types et les doses		
8	Existence d'un système de drainage	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
9	Indiquer la position de l'exutoire des eaux provenant du drainage par rapport à la ressource	Amont Aval	1-/_/ 2-/_/
10	Le point d'eau satisfait-il les besoins agricoles de la population concernée (BESOINAGRICOL)	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
11	Si non, existe d'autres points d'eau. ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
12	Par rapport au passé, quels changements avez-vous observés sur l'état de la ressource ?	profondeur, comblement du plan d'eau, érosion des berges pollution de la ressource, tarissement autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/
13	Si oui quelles en sont les causes ?	- les répercussions sur la ressource, les usages agricoles et votre bien être ?	1-/_/ 2-/_/
14	Quelles dispositions sont prises pour garantir la pérennité de la ressource dispositifs antiérosifs (quantité et qualité) ?	reboisement des berges respects techniques de labour interdictions de certaines pratiques délimitation des zones de protection intégrale respect calendrier et doses des intrants autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/
15	Connaissez-vous des activités qui sont menées ou d'autres pratiques dans les environs du point d'eau ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
16	Si oui citez-les		
17	Pensez-vous que lesdites activités ou pratiques peuvent avoir des impacts sur la ressource ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
18	Si oui quels types d'impacts et pourquoi ?		
19	Y a-t-il d'autres usagers de la ressource ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
20	Si oui, quels sont vos rapports avec ces autres usagers ?		

Questionnaires aux éleveurs

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
1	Espèces d'animaux utilisant la ressource	Bovins Ovins Caprins Autres (préciser)	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/
2	Modes de prélèvement	Accès direct Abreuvoir Autres (préciser)	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
3	Existence de couloir d'accès	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
4	Origine des troupeaux :	Transhumants Oui Autochtones Non	1-/_/ 2-/_/
5	Etat général du pâturage autour du point d'eau	surexploitation Oui Non	1-/_/ 2-/_/
6	Le point d'eau satisfait-il les besoins pastoraux de la population concernée	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
7	Si non, existe d'autres points d'eau. ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
8	Par rapport au passé, quels changements avez-vous observés sur l'état de la ressource	Profondeur comblement du plan d'eau érosion des berges pollution de la ressource, tarissement autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/
9	Si oui quelles en sont les causes ?	les répercussions sur la ressource les usages pastoraux et votre bien être ?	1-/_/ 2-/_/
10	Quelles dispositions sont prises pour garantir la pérennité de la ressource	dispositifs antiérosifs reboisement des berges abreuvoirs couloirs d'accès interdictions de certaines pratiques délimitation des zones de protection intégrale autres (préciser)	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/ 7-/_/
11	Connaissez-vous des activités qui sont menées ou d'autres pratiques dans les environs du point d'eau	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
12	Si oui citez-les		
13	Pensez-vous que lesdites activités ou pratiques peuvent avoir des impacts sur la ressource	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
14	Si oui quels types d'impacts et pourquoi ?		
15	Y a-t-il d'autres usagers de la ressource	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
16	Si oui, quels sont vos rapports avec ces autres usagers ?		

Questionnaires aux pêcheurs

N°	Questions et codes	Réponses	Modalités
1	Espèces de poissons pêchés		
2	Espèces de poissons élevés		
3	Evolution des quantités pêchées sur les 5 dernières années	Augmentation Oui Diminution Non	1-/_/ 2-/_/
4	Nombre de pêcheurs utilisant la ressource	Hommes Femmes	1-/_/ 2-/_/
5	Evolution du nombre de pêcheurs ces 5 dernières années (augmentation ou diminution)	Hommes Femmes Effectif total	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/
6	Utilisation de poisons	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
7	Si oui, quel type de poison ?		
8	Superficie des étangs (autour du site)		
9	Le point d'eau satisfait-il les besoins de pêche et pisciculture de la population concernée ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
10	Si non, existe d'autres points d'eau. ?	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
11	Par rapport au passé, quels changements avez-vous observés sur l'état de la ressource	Profondeur comblement du plan d'eau érosion des berges pollution de la ressource, tarissement autres	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/
12	Si oui quelles en sont	les causes les répercussions sur la ressource, les activités de pêche/ pisciculture et votre bien être ?	
13	Quelles dispositions sont prises pour garantir la pérennité de la ressource	dispositifs antiérosifs reboisement des berges interdictions de certaines pratiques délimitation des zones de protection intégrale réglementation des périodes de pêche empoissonnement périodique du plan d'eau autres (préciser)	1-/_/ 2-/_/ 3-/_/ 4-/_/ 5-/_/ 6-/_/ 7-/_/
14	Connaissez-vous des activités qui sont menées ou d'autres pratiques dans les environs du point d'eau	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
15	Si oui citez-les		
16	Pensez-vous que lesdites activités ou pratiques peuvent avoir des impacts sur la ressource	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
17	Si oui quels types d'impacts et pourquoi ?		
18	Y a-t-il d'autres usagers de la ressource	Oui Non	1-/_/ 2-/_/
19	Si oui, quels sont vos rapports avec ces autres usagers ?		

Guide d'entretien

A/ Focus groupe avec les acteurs (Ménages, Agriculteurs, Eleveurs et Pêcheurs)

1- Quels sont les problèmes liés à l'installation et l'exploitation des puits communautaires ?

2- En dehors des puits quels sont les autres points d'eau de la commune de Kandi ?

3- Comment se fait l'entretien de vos points d'eau ?

4- Comment faites-vous l'évacuation des excréta ?

5- Comment faites-vous l'évacuation des ordures ménagères ?

6- Comment faites-vous l'évacuation des eaux usées ?

7- Quelles sont les Forces, Faiblesses Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'eau ?

8- Quelles sont les Forces, Faiblesses Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et assainissement ?

B/ Personnel de l'hôpital de zone à Kandi

1- Quels sont les cas de maladies hydriques que vous enregistrez dans votre centre ?

2- **L**es statistiques sanitaires des maladies liées à l'eau au cours des années 2007 à 2016 ?

3- Comment peut-on justifier la pollution des sources d'eau ?

C/ Personnel du SRH / SRHAB / SONEB de l'Alibori

1- Norme de la qualité de l'eau de consommation.

2- Quels sont les facteurs liés à la pollution des sources d'eau ?

3- Comment peut-on lutter contre la pollution des sources d'eau ?

4- Les déterminants de la pollution des points d'eau.

5- Les différentes étapes d'analyse de l'eau des sources d'eau.

6- Quelles sont selon-vous les Forces, Faiblesses Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'eau, hygiène et assainissement ?

Annexe II : Répartition des ménages et focus group réalisés par arrondissement dans la Commune de Kandi

Arrondissements	Nombre de ménages au recensement de 2002*	Effectif des ménages : taux d'échantillonnage	Effectif des participants au focus group
Angaradébou	1 807	49	11
Bensékou	515	15	9
Donwari	1 396	38	10
Kandi 1	1 147	34	10
Kandi 2	1 493	43	11
Kandi 3	1 110	33	10
Kassakou	1 014	28	9
Saah	657	18	9
Sam	1 437	41	11
Sonsoro	1 097	31	10
Total	**11673**	**330**	**100**

Source : *INSAE, 2002 / Travaux de terrain, 2015-2016

Annexe III : Répartition de la taille de l'échantillon des acteurs interviewés par arrondissement dans la Commune de Kandi

Arrondissements	Agriculteurs	Eleveurs	Pêcheurs	Total
Angaradébou	13	13	10	36
Bensékou	13	13	15	41
Donwari	13	13	10	36
Kandi 1	5	5	5	15
Kandi 2	5	5	0	10
Kandi 3	5	5	5	15
Kassakou	11	11	10	32
Saah	13	13	15	41
Sam	11	11	15	37
Sonsoro	11	11	15	37
Total	**100**	**100**	**100**	**300**

Source : Travaux de terrain, 20015-2016

Annexe IV : Analyse physico-chimique et bactériologique des ouvrages hydrauliques étudiés dans la Commune de Kandi

Eau souterraine

Localité	Type d'oùvrage	Longitude	Latitude	Température	Ph	NO-3 (mg/L)	NO-2 (mg/L)	NH+4 (mg/L)	Coliforme totaux (UFC/ 100mL)	Escheria Coli (UFC/ 100mL)
Kongoun	FPM	489948	1238330	26,7	6,85	23,72	0,0165	0,0024	0	0
Kandi	SONEB	492838	1231085	26,5	5,27	5,48	0,0013	0	0	0
Loussi	FPM	494852	1227089	26,3	7,46	19,92	0,0186	0,0167	2500	0
Alfakoara	FPM	508268	1265025	26,2	6,98	33,3	0,137	0,0285	500	0
Tchoka	PM	503609	1255355	26,4	5,27	40,48	0,0179	0,2093	5500	0
Serkalé	FPM	498211	1255238	27	5,78	43,74	7,13	0,0951	3500	0
Angaradébou	AEV	504563	1251689	26,8	7,3	10,48	0,0192	0,0201	0	0
Bensékou	FPM	516296	1214595	26,1	5,66	93,9	0,165	0,0673	23500	2500
Sota	FPM	523701	1213788	25	6,76	40,25	0,0237	0,0324	0	0
Koutakroukou	PM	507320	1221110	25,4	6,8	31,63	0,0957	0,0125	500	0
Touko	PM	481881	1223635	26,2	5,06	11,67	0,0513	0,125	500	0
Donwari	PM	483984	1229121	27	7,3	31,27	0,089	0,0298	1500	0
Kassakou	FPM	489284	1224200	26,6	6,77	15,18	0,0636	0,763	500	0
Padé	PM	487041	1220582	26,7	7,2	43,96	0,0178	0,091	3500	500
Fouret	PM	505454	1242194	26,2	5,06	22,76	0,0989	0,0823	500	0
Saah	PM	506826	1235091	26,9	5,78	35,98	0,0178	0,04	500	0
Lolo	PM	507661	1245119	25,9	6,4	27,37	0,0467	0,0694	500	200
Sakatoussa	FPM	479252	1215310	27	5,97	18,26	0,016	0,039	0	0
Sam	PM	471240	1219359	26,7	6,5	67,27	0,0567	0,0974	27500	2000
Tankongou	FPM	472020	1208463	26,5	6,8	69,2	0,0153	0,0874	18500	1500
Pédigui	FPM	477926	1220041	26,3	5,55	11,98	0,0835	0,0257	500	0
Yankin	FPM	463923	1241965	27	5,11	63,43	0,198	0,091	0	0
Sonsoro	PM	473939	1225717	26,8	5,8	12,52	0,075	0,0014	500	0
Antère	PM	497372	1252317	26,8	7,4	33,2	0,036	0,0245	17500	2500
Illoré	PT	516050	1256833	26,9	7,1	81,5	0,768	1,86	23500	4500
Fouet	PT	518659	1247313	27	6,9	167,3	13,23	1,29	33500	4500
Wonka	FPM	469514	1209675	26,3	7,2	33,74	0,0275	0,0873	0	0
Yaoudarou	FPM	469176	1220562	26,7	7,5	27,23	0,019	0,0276	0	0
Sassabaga	FPM	473023	1231458	26,4	7,4	43,13	0,0178	0,0367	0	0
Woyonkou	FPM	468933	1227370	26,6	7,6	60,49	0,0769	0,0984	0	0

Source : Travaux de terrain, 2015, laboratoire de la Direction de l'Hydraulique Borgou / Alibori

Eau de surface

n°	arrondissement	villages	localités	nitrate (mg/L)	nitrite (mg/L)	Ammonium (mg/L)
1	Donwari	Tissarou	Tissarou	158,63	13,33	10,59
2	Donwari	Gambanè	Gambanè	171,87	36,23	10,67
3	Sonsoro	Sinawongourou	Sassabaka	189,37	19,32	14,69
4	Sonsoro	Sonsoro	Bénè	186,47	39,97	10,23
5	Sam	Tankongou	Tankongou	229,37	21,59	11,32
6	Sam	Gbindarou	Gbindarou	173,96	20,37	9,69
7	Sam	Yodarou	Yodarou	174,49	27,32	7,89
8	Kandi 1	Dodopanè	Balè	289,74	28,78	11,32
9	Angaradébou	Alfakoara	Séfou	159,23	31,01	17,23
10	Angaradébou	Lolo	Potoko	271,87	23	10,01
11	Angaradébou	Fouet	Fouet	178,63	13,47	9,23
12	Bensékou	Gogbèdê	Nouri	234,29	37,56	11,09
13	Kandi III	Kandifô	Sosso	186,39	10,73	12,01
14	Kassakou	Kpagala	Kpagala	147,63	9,89	11,37
15	Kassakou	Firi	Firi	187,96	10,12	8,57
16	Sonsoro	Yankin	Yankin	117,96	23,52	11,87

Source : Travaux de terrain, 2015, laboratoire de la Direction de l'Hydraulique Borgou / Alibori

Annexe V : Gros tas d'immondice

Village	Localité	Site	Superficie (m^2)
Kéféri	Kéféri	DCAM 1	981,69
Gogbèdê	Nouri	Nouri	369,47
Banigourou	Banigourou	DCAM 2	923,57
Loussi	Loussi	Loussi	206,54
Daressalam	Daressalam	DCAM 3	849,42
Podo	Podo	Podo	122,37
Saah	Saah	Saah	102,74
Banikani	Banikani	Banikani	171,91
Lolo	Lolo	Lolo	236,94
Fouet	Fouet	Fouet	341,24
Zanloa	Zanloa	Zanloa	247,32
Gando	Gando	Gando	93,425
Tchoka	Tchoka	Tchoka	259,81
Serkalé	Serkalé	Serkalé	187,64
Angaradébou	Angaradébou 5	Angaradébou 5	276,41
Kassakou	Kassakou	Kassakou	286,37
Padé	Padé	Padé	328,28
Bordarou	Bordarou	Bordarou	387,89
Boro	Boro	Boro	293,46
Tankongou	Tankongou	Tankongou	429,28
Gbindarou	Gbindarou	Gbindarou	103,15
Sam	Sam	Sam	527,89

Village	Localité	Site	Superficie (m^2)
Yodarou	Yodarou	Yodarou	99,75
Gbêsséko	Gbêsséko	Gbêsséka	210,36
Bordérou	Bordérou	Bordérou	569,97
Sadjio	Sadjio	Sadjio	201,97
Bayirou	Bayirou	Bayirou	209,65
Sakatoussa	Sakatoussa	Sakatoussa	230,26
Bankpo	Bankpo	Bankpo	397,59
Pégon	Pégon	Pégon	365,72
Madina	Madina	Dakara	462,38
Dodopanè	Dodopanè	Dodopanè	86,256
Dodopanè	Dodopanè	Balè	207,45
Kongou	Kongou	Kongou	97,563
Tissarou	Tissarou	Tissarou	207,63
Donwari	Donwari	Donwari	245,75
Gamanè	Gamanè	Gamanè	139,96
Touko	Touko	Touko	318,14
Pédigui	Pédigui	Pédigui	296,43
Sonsoro	Sonsoro	Sonsoro	427,65
Sinawongourou	Sinawongourou 6	Sinawongourou 6	467,87
Yankin	Yankin	Yankin	97,634
Alibori B	Alibori B	Alibori B	427,96
Thuy	Thuy	Thuy	346,15
Kofoissa	Kofoissa	Kofoissa	412,36
Pédè	Pédè	Pédè	429,75
Thya	Thya	Thya	294,24
Alphakoara	Alphakoara	Alphakoara	501,23
Goungoun	Fiafoufoun	Fiafoufoun	363,21
Kandifo	Kandifo	Kandifo	387,99
Soualou	Soualou	Soualou	210,84
Koutakroukou	Koutakroukou 1	Koutakroukou 1	462,97
Gogbèdê	Gogbèdê	Gogbèdê	421,32
Bensékou	Bensékou	Bensékou	333,05
Bensékou	Acajou	Acajou	102,22
Bensékou	Sota	Sota	295,22
Gbassè	Gbassè	Gbassè	112,01
firi	firi	firi	347,09
Goungoun	Goungoun	Goungoun	349,79
koi	koi	koi	287,63
koko	koko	koko	400,06
ekiwo	ekiwo	ekiwo	201,33
boto	boto	boto	397,08
sam	bénè	bénè	501,79
sonsoro	dine	dine	394,48
Bensékou	sansou	sansou	385,25

Village	Localité	Site	Superficie (m^2)
kandi 1	konekoga	konekoga	204,98
Angaradébou	tadizougou	tadizougou	399,49
Angaradébou	selonkparou	selonkparou	362,17
Angaradébou	souakaka	souakaka	296,57
Angaradébou	wena	wena	359,74
Angaradébou	koutala	koutala	401,96
Angaradébou	bada	bada	479,12
Angaradébou	tai	tai	299,82
Angaradébou	Kouta dangogbé	Kouta dangogbé	207,69
Angaradébou	bedarou	bedarou	201,38

Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.

Annexe VI : Coordonnées géographiques de quelques latrines publiques

Localité	X_Coord	Y_Coord	Altitude (m)
Lolo	507827	1245269	292
Wonka	469547	1209762	300
Nouri	511324	1218844	283
Banigourou 1	492540	1229023	307
Banigourou 2	492879	1229828	301
Loussi	494798	1227545	321
Podo	498330	1233473	290
Saah 1	507035	1235261	255
Saah 2	507495	1235180	255
Banikani 1	506884	1240236	271
Banikani 2	506997	1240603	274
Fouet	518566	1249309	271
Tchoka	503556	1254632	280
Serkalé	498312	1255501	250
Angaradébou	503893	1251050	300
Kassakou 1	489253	1225076	292
Kassakou 2	489416	1224242	293
Tankongou 1	471781	1208000	280
Tankongou 2	471852	1208521	275
Sam	471474	1219611	274
Bordérou 1	475391	1216187	299
Bordérou 2	475594	1216183	303
Sakatoussa	479567	1215553	299
Pégon	483617	1217237	294
Madina	494071	1229830	310
Kéféri 1	493063	1231451	283
Kéféri 2	492877	1231067	279
CEG 3	491652	1230844	279
CS Dodopanè	490996	1234482	260
Dodopanè	490897	1234944	262

Localité	X_Coord	Y_Coord	Altitude (m)
Kongou	489873	1237929	250
Tissarou	486255	1229920	294
Donwari 1	484291	1228830	314
Donwari 2	483753	1228922	318
Gamanè	482451	1224675	308
Pédigui	478162	1221552	326
Sonsoro 1	474517	1224905	298
Sonsoro 2	474343	1225728	299
Sinawongourou 1	475434	1229039	291
Sinawongourou 2	475594	1229485	288
Sinawongourou 3	475380	1229690	286
Yankin	463913	1241927	233
CS Thya	506608	1254814	304
Alphakoara 1	508351	1263053	311
Alphakoara 2	508111	1264727	299
Alphakoara 3	508223	1265045	298
Alphakoara 4	508208	1265811	252
Alphakoara 5	508165	1265347	252
Thuy	502615	1248449	255
Kofoissa	499930	1293161	251
Pédè	495367	1236973	243
Kandifo 1	496228	1228937	308
Kandifo 2	496733	1228616	305
Koutakroukou	507369	1221386	266
Bensékou 1	516245	1214736	311
Bensékou 2	516497	1214431	310

Source : Travaux de terrain, 2015 – 2016

Annexe VII : Maladies hydriques de 2007 à 2016

Maladies hydriques 2007

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	33	4	2	27	81	751	2	11	23	6
Affections dermatologiques	217	49	23	97	41	183	51	24	0	19
Affections gastro-intestinales	721	298	96	752	83	0	386	363	826	322
Affections respiratoires	2577	1604	129	1200	1020	146	474	252	1257	457
Choléra	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Diarrhée	705	1	13	347	272	401	51	69	344	179
Paludisme	5823	2188	1359	3736	2805	3695	1488	1335	873	989
Rougeole	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shiguellose	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2008

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	39	10	8	17	101	741	7	17	27	9
Affections dermatologiques	312	27	9	82	29	17	37	31	27	4
Affections gastro-intestinales	741	221	87	712	80	2	371	347	829	308
Affections respiratoires	2327	1644	119	1210	1110	143	488	273	1287	423
Choléra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Diarrhée	755	19	27	341	202	356	47	79	354	189
Paludisme	5823	2188	1359	3736	2805	3695	1488	1335	873	989
Rougeole	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Shiguellose	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2009

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	23	14	12	17	81	705	12	21	27	9
Affections dermatologiques	239	52	24	101	97	57	160	42	18	27
Affections gastro-intestinales	701	228	16	562	83	14	416	317	426	302
Affections respiratoires	2237	1404	179	134	1160	176	274	292	1254	157
Choléra	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Diarrhée	405	71	33	308	242	421	71	99	304	159
Paludisme	5824	2288	1379	371	2103	3295	1448	1345	823	981
Rougeole	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shiguellose	14	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2010

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	33	4	2	27	81	751	2	11	23	6
Affections dermatologiques	131	44	0	95	106	89	143	31	3	15
Affections gastro-intestinales	721	298	96	752	83	0	386	363	826	322
Affections respiratoires	2577	1604	129	1200	1020	146	474	252	1257	457
Choléra	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Diarrhée	705	1	13	347	272	401	51	69	344	179
Paludisme	5823	2188	1359	3736	2805	3695	1488	1335	873	989
Rougeole	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shiguellose	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2011

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	42	22	3	15	84	700	1	11	20	8
Affections dermatologiques	295	22	0	79	37	162	42	43	0	0
Affections gastro-intestinales	1541	201	145	741	47	0	201	366	672	21
Affections respiratoires	3581	1155	257	1393	544	113	701	466	950	573
Diarrhée	537	0	21	354	115	135	122	68	178	254
Paludisme	7452	2392	1265	3373	8315	4473	1544	1653	681	1582
Rougeole	3	0	0	2	0	0	0	1	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2012

Maladies hydriques	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	37	3	11	28	73	538	4	3	1	10
Affections dermatologiques	243	16	12	163	42	248	24	62	0	5
Affections gastro-intestinales	1664	579	203	920	64	134	74	485	729	81
Affections respiratoires	3919	825	359	1868	815	252	826	532	781	543
Diarrhée	777	0	26	547	169	438	190	38	164	286
Paludisme grave	9252	1897	1743	5386	5886	6376	2375	1910	1088	1647
Rougeole	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Shiguellose	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2013

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	64	2	28	72	34	1033	9	12	2	10
Affections dermatologiques	322	14	10	315	92	282	9	105	13	16
Affections gastro-intestinales	1701	421	171	1599	451	159	115	417	67	46
Affections respiratoires	42	510	330	2177	940	282	493	527	944	440
Choléra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diarrhée	932	0	20	664	69	961	91	112	294	351
Paludisme	8873	2056	1777	6302	5697	3881	2048	2103	2766	1882
Rougeole	4	0	1	6	4	15	0	1	0	0
Shiguellose	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2014

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	40	0	50	68	85	606	7	7	19	42
Affections dermatologiques	255	20	26	544	149	235	42	48	55	126
Affections gastro-intestinales	289	382	289	1591	601	117	103	305	33	245
Affections respiratoires	142	424	872	2712	1444	447	820	405	2090	873
Diarrhée	822	0	43	1049	56	827	138	151	229	547
Paludisme	8773	2042	1982	6495	2228	3173	2540	1936	3284	3163
Rougeole	12	1	27	84	8	173	5	3	14	78
Shiguellose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2015

MALADIES HYDRIQUES	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	43	9	3	27	21	356	8	3	7	17
Affections dermatologiques	165	0	1	451	204	213	23	47	5	111
Affections gastro-intestinales	368	238	178	1567	868	765	174	319	29	446
Affections respiratoires	3135	245	670	1992	1007	1579	470	404	1964	873
Diarrhée	1358	0	99	664	176	461	73	143	227	603
Choléra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paludisme	7431	1725	1174	4775	2718	4569	1524	2027	2356	2622
Rougeole	3	0	0	3	4	2	2	0	1	0
Shiguellose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Maladies hydriques 2016

Maladies hydriques	ANGARADEBOU	BENSEKOU	DONWARI	KANDI I	KANDI II	KANDI III	KASSAKOU	SAAH	SAM	SONSORO
Conjonctivite	25	0	1	2	0	32	1	9	5	19
Affections dermatologiques	95	0	5	247	119	173	14	45	5	79
Affections gastro-intestinales	478	0	333	1216	378	809	124	333	24	516
Affections respiratoires	2648	161	931	1193	974	1561	352	377	969	677
Diarrhée	807	0	227	514	224	298	98	91	188	500
Choléra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paludisme	7494	1182	1047	4184	2713	4773	1116	2058	3458	2462
Rougeole	0	0	5	4	0	0	0	0	1	0
Shiguellose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Source : Hôpital de zone Kandi/SNIGS/MSP/2016

Annexe VIII : MNT de la Commune de Kandi

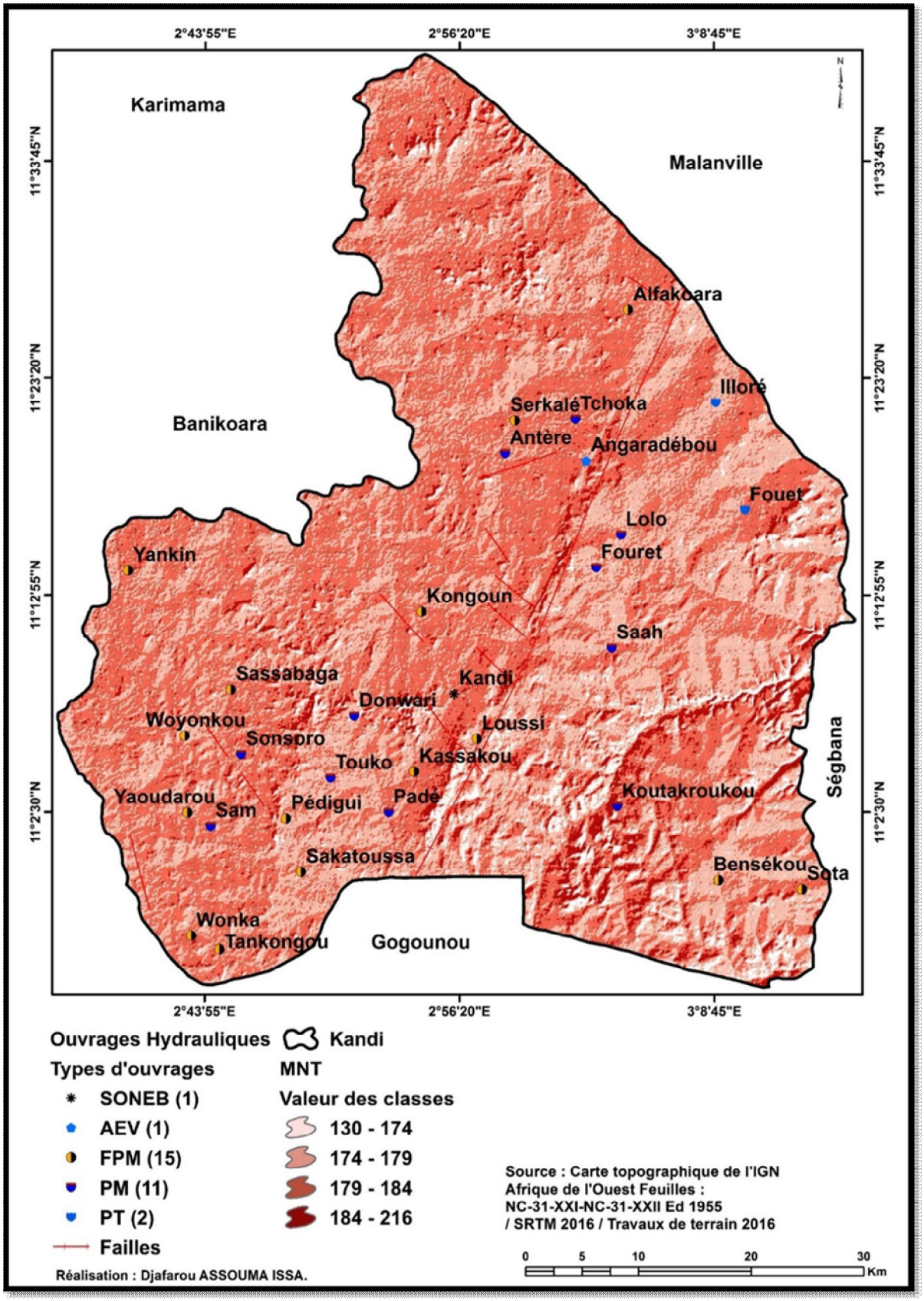

Figure 1 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la Commune de Kandi. Source : SRTM

Annexe IX : Données hydrodynamiques

Niveau statique des puits à grand diamètre (PM)

n°	commune	arrondissement	localité	latitude	longitude	altitude (m)	niveau statique (m)
1	Kandi	Sam	Sam	1219359	471240	307	12,7
2	Kandi	Sonsoro	Sonsoro	1225717	473939	289	12,03
3	Kandi	Donwari	Donwari	1229121	483984	315	17,19
4	Kandi	Kandi 3	Podo	1233250	498300	268	14,6
5	Kandi	Saah	Saah	1235238	507224	245	17,51
6	Kandi	Kandi 1	Banikani	1240610	506753	252	5,72
7	Kandi	Saah	Lolo	1245119	507661	270	28,71
8	Kandi	Saah	Fouet	1249052	518816	246	34
9	Kandi	Saah	Zanloua	1253042	529234	232	30,31
10	Kandi	Angaradébou	Angaradébou	1251689	504563	281	7,67
11	Kandi	Angaradébou	Serkalé	1255422	498151	243	10,33
12	Kandi	Angaradébou	Ikoï-moussagourma	1259392	507891	307	20,13
13	Kandi	Angaradébou	Alfa-Kouara	1264843	508369	284	3,32
14	Kandi	Angaradébou	Andawéré	1245857	501457	2993	21,5
15	Kandi	Kandi 1	Pédé	1237615	495579	280	7,64
16	Kandi	Kandi 3	Kandifo	1228794	496540	287	5,53
17	Kandi	Bensékou	Bensékou	1218567	511485	271	6,71
18	Kandi	Bensékou	Koutakoukou 1	1221110	507320	257	11,65
19	Kandi	Bensékou	Koutakoukou 2	1224012	504174	244	10,47
20	Kandi	Kandi	Kandi	1230928	493141	284	4,04
21	Kandi	Kassakou	kassakou	1224757	489880	300	6,68
22	Kandi	Kassakou	Kpadé	1220582	487041	281	7,6

Source : Travaux de terrain, 2016

Transmissivité des ouvrages dans la Commune de Kandi

Situation de la commune	Formation aquifère	Position stratigraphique	Type de perméabilité	Transmisivité en m^2/s	Zone non saturée		Degré de vulnérabilité
					Epaisseur (m)	*Nature*	
Kandi (Ouest)	Gneiss, granite, migmatite micaschiste (socle)	Pré cambrien	Fissuré	$10^{-6}/10^{-4}$	35-45	Terre végétale sableuse altérites	Possibilité de pollution locale rapide par infiltration dans les fissures
Kandi (Est)	Grès	Cambro silurien	Mixte	$10^{-4}/10^{-3}$	30-50	Latérite, argile sableuse Grès argileux	Propagation à vitesse moyenne

Source : Service Régional de l'Hydraulique Kandi, 2016

Débit d'exploitation des forages

Localité	X_Coord	Y_Coord	Débit des forages
YABODARI	463120	1268759	1,34
SONKPINHAN	448984	1234509	1
DOGODOUSSI	518546	1258699	6
KINIBAYE	516927	1267083	4
SEFOU	508268	1265025	1,9
SEFOU	508735	1265188	7
SONDO	508229	1265237	8,6
ANTERE	497362	1252314	9
DOGBAN	499251	1252566	1
KITI KITI	516050	1256833	18
KITI KITI	520775	1256710	15,65
KPANLOLO	504962	1251590	14,4
KPANLOLO BOUNZA	506026	1251796	6
KPANLOLO II	504713	1251804	12
SERKALE	498184	1255140	1,7
SERKALE	498211	1255238	0,74
SOUNDOU	504561	1251685	41
SOUNDOU	504386	1251734	8
TCHOKA	503064	1254996	3,7
KOFOISSA (FAFA) PEULH	500685	1242581	0,8
ANGARADEBOU GANDO	518079	1248962	5,61
FOUAY	518804	1249015	1
FOUAY	529274	1252988	12
TOUTOUKOUDJOMA	524474	1247246	15
THYA BLOC A	506913	1254735	4,3
TYHA	507031	1255414	1
ANDAWERE AGASIAROU	500003	1245824	0,7
GOURE DJADJA	497832	1251368	0,8
KANAN PEULH	503625	1248165	2,5
THUY BLOC A	503083	1247873	13,5
THUY BLOC A	503067	1247876	1
BENSEKOU BLOC A	505547	1214345	10,5
BENSEKOU -PEULH	516296	1213910	1,76
GBOGBEDE PEULH	512759	1217056	26
GOGBEDE I	511490	1218816	56
GOURE BALLE	521565	1213302	30
GUEDAROU	503824	1207072	2,5
GUEDAROU	503879	1207124	2,5
ABDOULAYE SORI	504368	1223842	1
BINEBA	503860	1210064	3,88
KOUTAKROUKOU	507348	1221204	11
KOUTAKROUKOU	507227	1221401	11
KOUTAKROUKOU PEULH	508313	1219620	1
SOUALOU	503658	1224290	12

Source : Service Régional de l'Hydraulique Kandi, 2016

Annexe X : Effectif de la population et densité de population par arrondissement

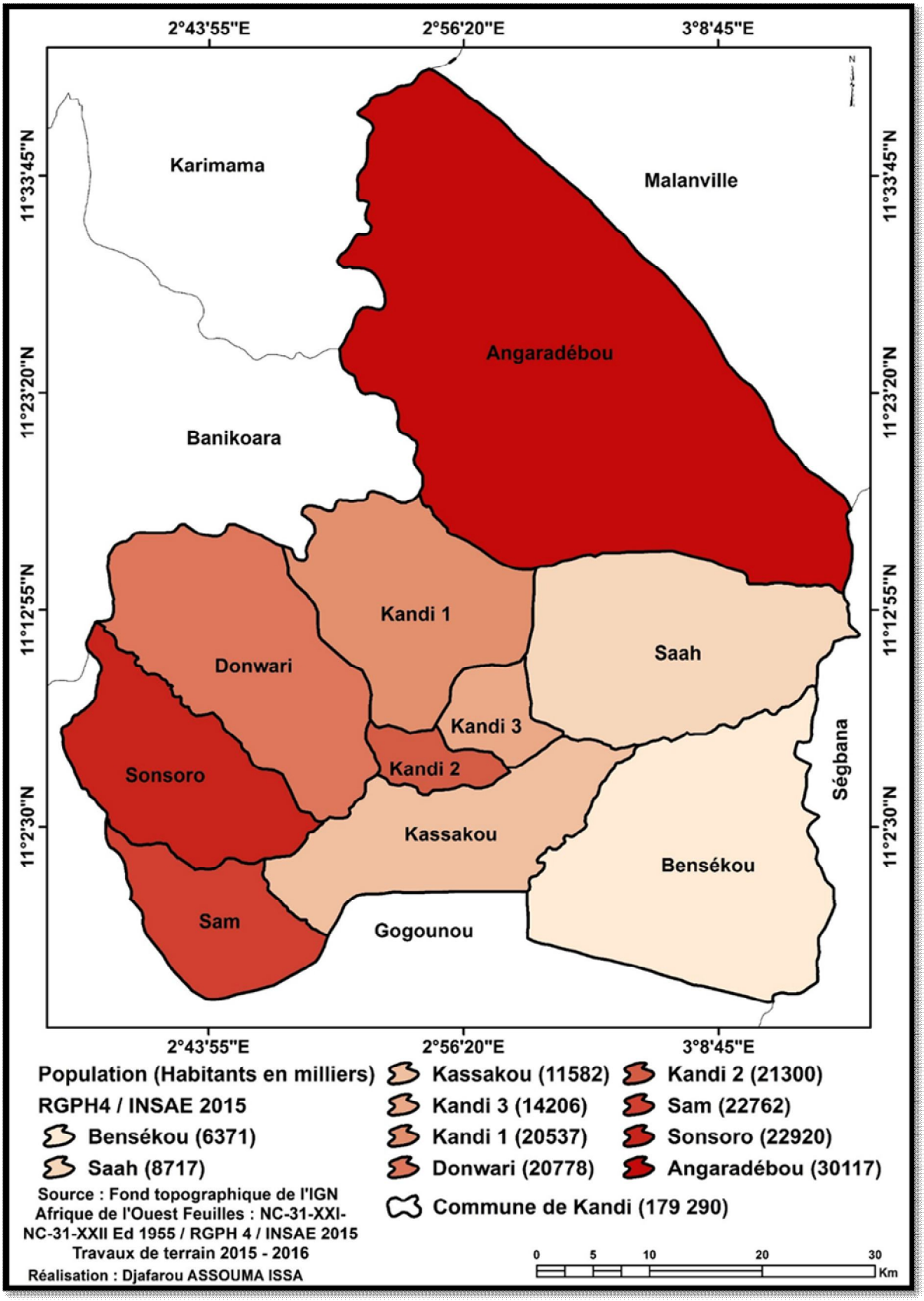

Figure 2 : Population de la Commune de Kandi par arrondissement au $RGPH_4$. **Source** : INSAE, 2015 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

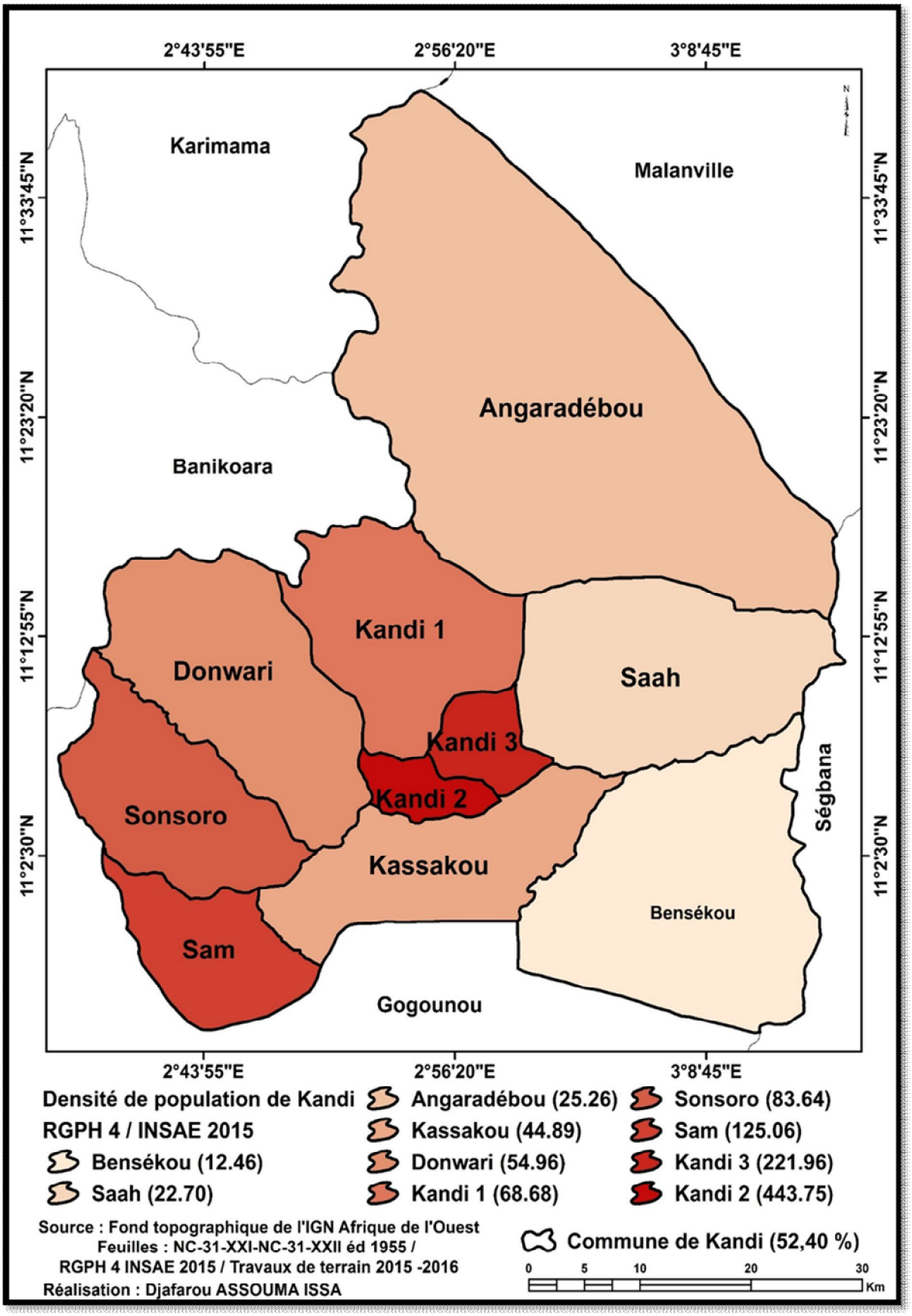

Figure 3 : Densité de population de la Commune de Kandi par arrondissement au $RGPH_4$.

Source : INSAE, 2015 / Travaux de terrain, Kandi, 2016

Annexe XI : Normes physico-chimiques et microbiologiques béninoises

Normes microbiologiques béninoises

Paramètres	Unités	Normes	
		Eaux non désinfectées	Eaux désinfectées
Algues, Champignons, Protozoaires	Nombre/ml	0	0
Germes banals ou autochtones	Nombre/ml	50	20
Schigella	Nombre/100ml	0	0
Streptocoques fécaux	Nombre/100ml	0	0
Salmonella	Nombre/100ml	0	0
Clostridium perfringens	Nombre/100ml	2	0
Staphylocoques	Nombre/100ml	0	0
Escherichia coli	Nombre/100ml	0	0
Coliformes totaux	Nombre/100ml	0	0
Vibrions cholériques	Nombre/100ml	0	0

Source : Décret 2001-094 du 20 Février 2001.

Normes physico-chimiques béninoises

Paramètres	Unités	Valeur Maximale Permise
Paramètres chimiques inorganiques		
Turbidité	UTN ou FNU	5,0
Paramètres chimiques		
Arsenic	mg/l	0,05
Barium	mg/l	1,0
Bore	mg/l	5,0
Cadmium	mg/l	0,005
Chrome	mg/l	0,05
Cuivre	mg/l	2,0
Cyanures	mg/l	0,2
Fluorures	mg/l	1,5
Mercure	mg/l	0,001
Nickel	mg/l	0,02
Nitrates	mg/l	45
Nitrites	mg/l	3,2
Plomb	mg/l	0,05
Sélénium	mg/l	0,01
Sulfates	mg/l	400
pH	Unités pH	6 ,5<pH< 8,5
Paramètres chimiques organiques		
Benzène	mg/l	0,010
Composés phénoliques	mg/l	0,002

Normes opérationnelles – Paramètres physico-chimiques		
Calcium	mg/l	100
Chlorures	mg/l	250
Couleur	µcV	15
Dureté	mg/l	200
Fer	mg/l	0,3
Goût	-	Inoffensif
Magnésium	mg/l	50
Maganèse	mg/l	0,1
Zinc	mg/l	3

Source : Décret 2001-094 du 20 Février 2000.

Recommandations de l'OMS

Paramètres	Valeur Maximale Admise (VMA)
pH	6,5 - 8,5
Couleur (unité couleur : uc	15
Conductivité (micro-siemens/ cm)	2000
Nitrate : NO^-_3 mg/l	45 (50)
Nitrite : NO^-_2 mg/l	3,2
Ammonium : NH^+_4 (mg/l)	0,5
Sulfates	400
Fer	0,3
Magnésium	50
Chlorures	250
Dureté total	500
Phosphate	5

Source : Service de la qualité de l'eau / Direction Générale de l'Eau.

Annexe XII : Teneur en ammonium, en nitrate et en nitrite des retenues d'eau

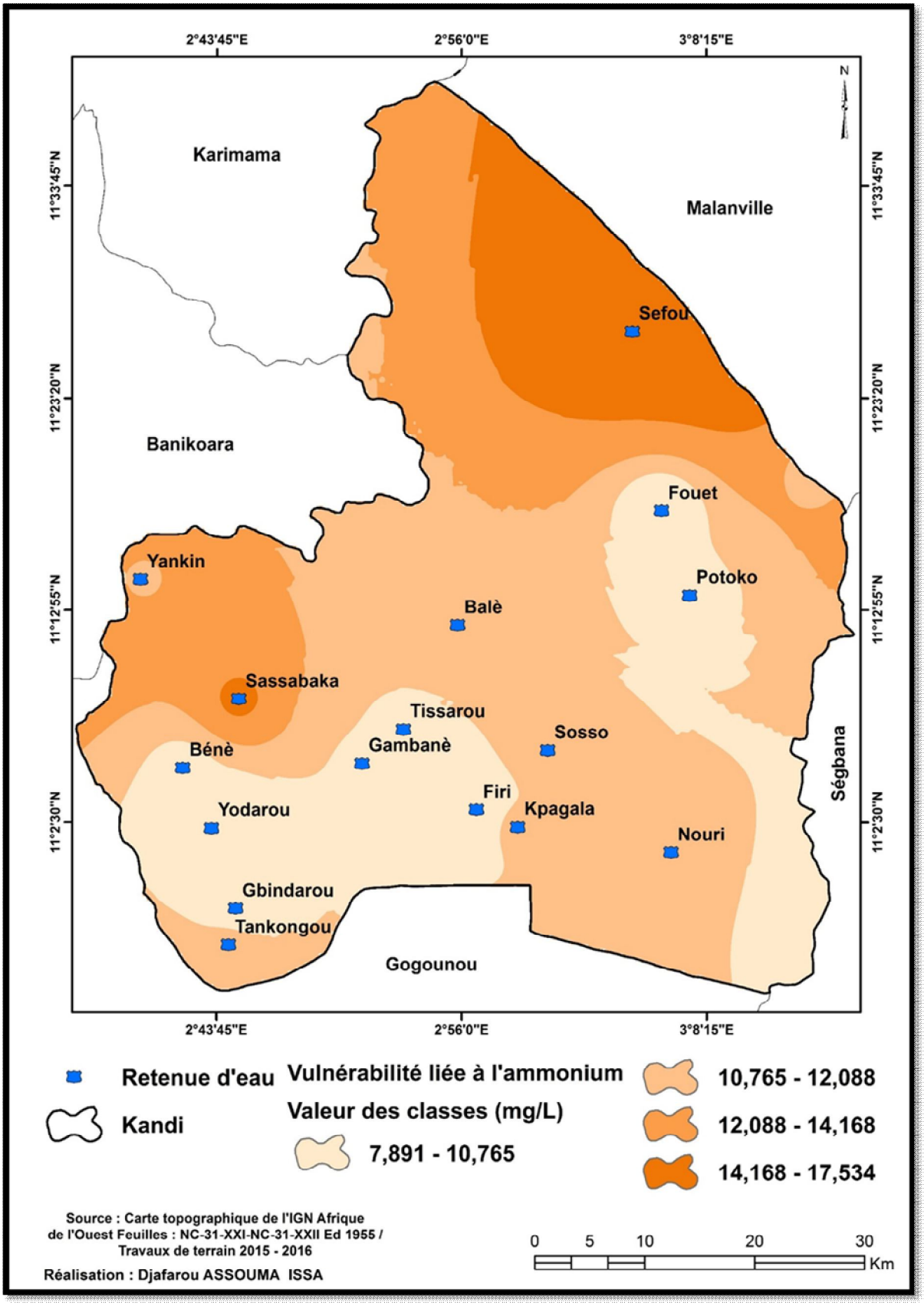

Figure 4 : Vulnérabilité des retenues d'eau liée à la teneur en ammonium dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

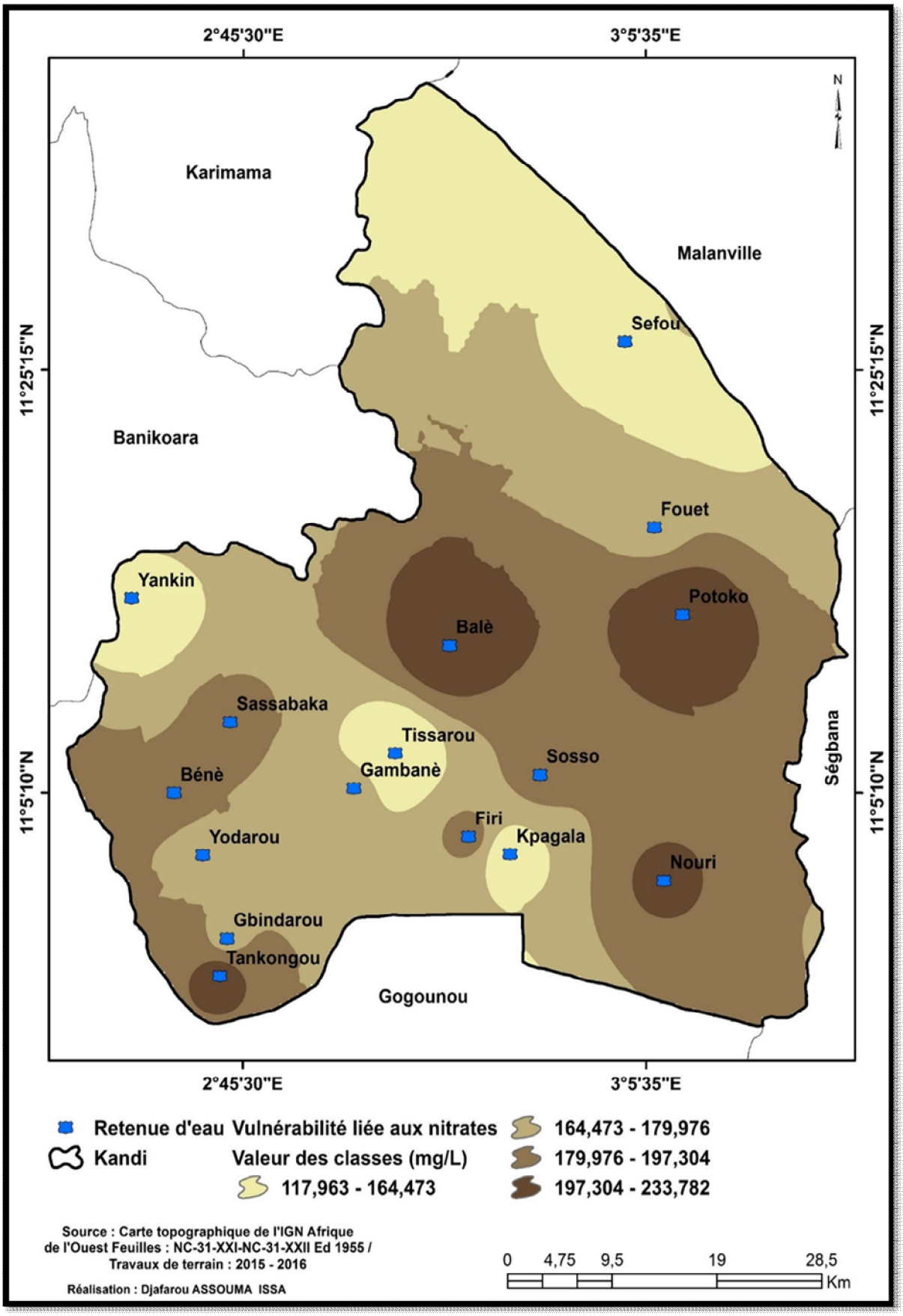

Figure 5 : Vulnérabilité des retenues d'eau liée à la teneur en nitrate dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

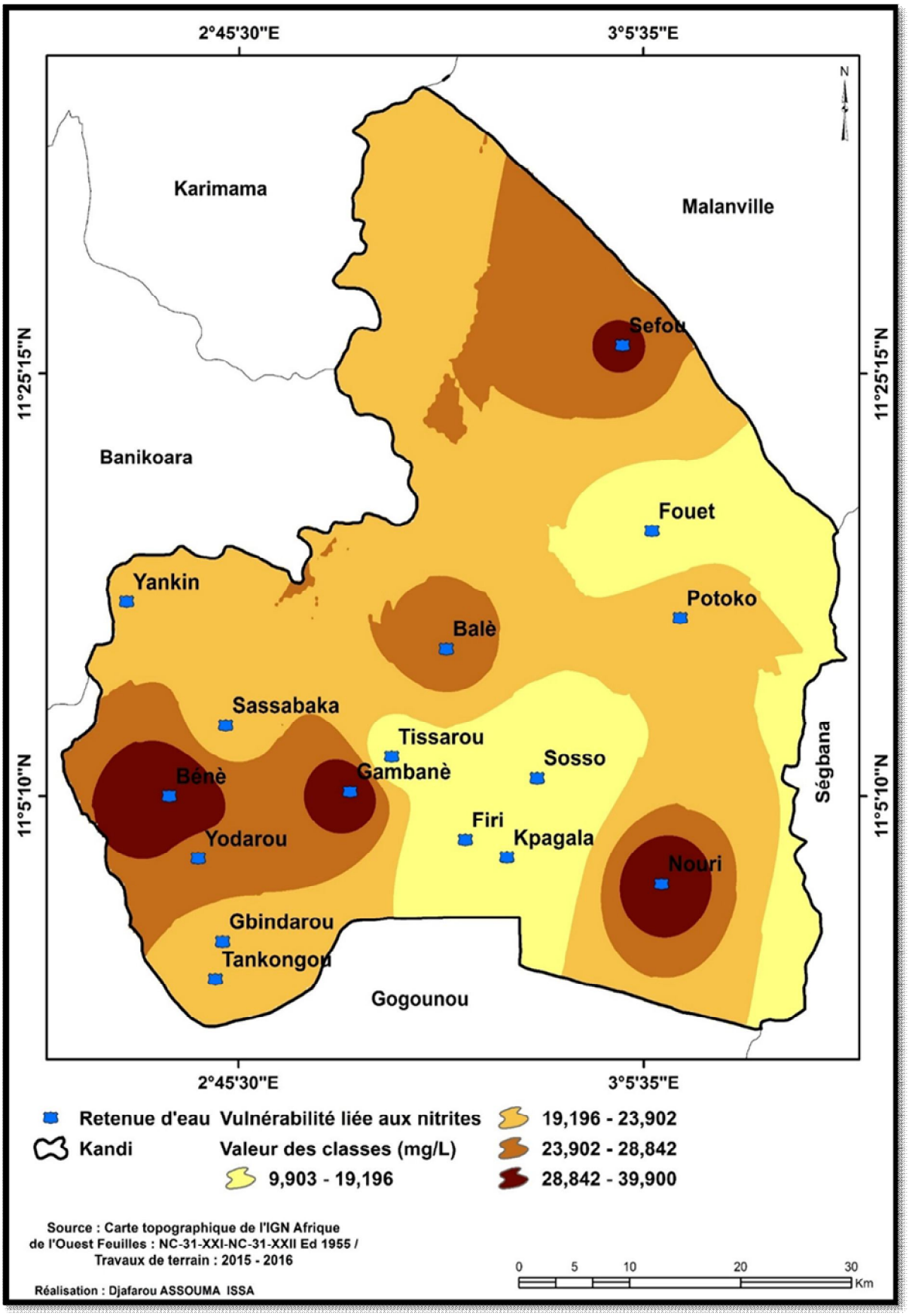

Figure 6 : Vulnérabilité des retenues d'eau liée à la teneur en nitrite dans la Commune de Kandi. **Source** : Travaux de terrain, Kandi, 2016

Annexe XIII : Maladies hydriques de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi

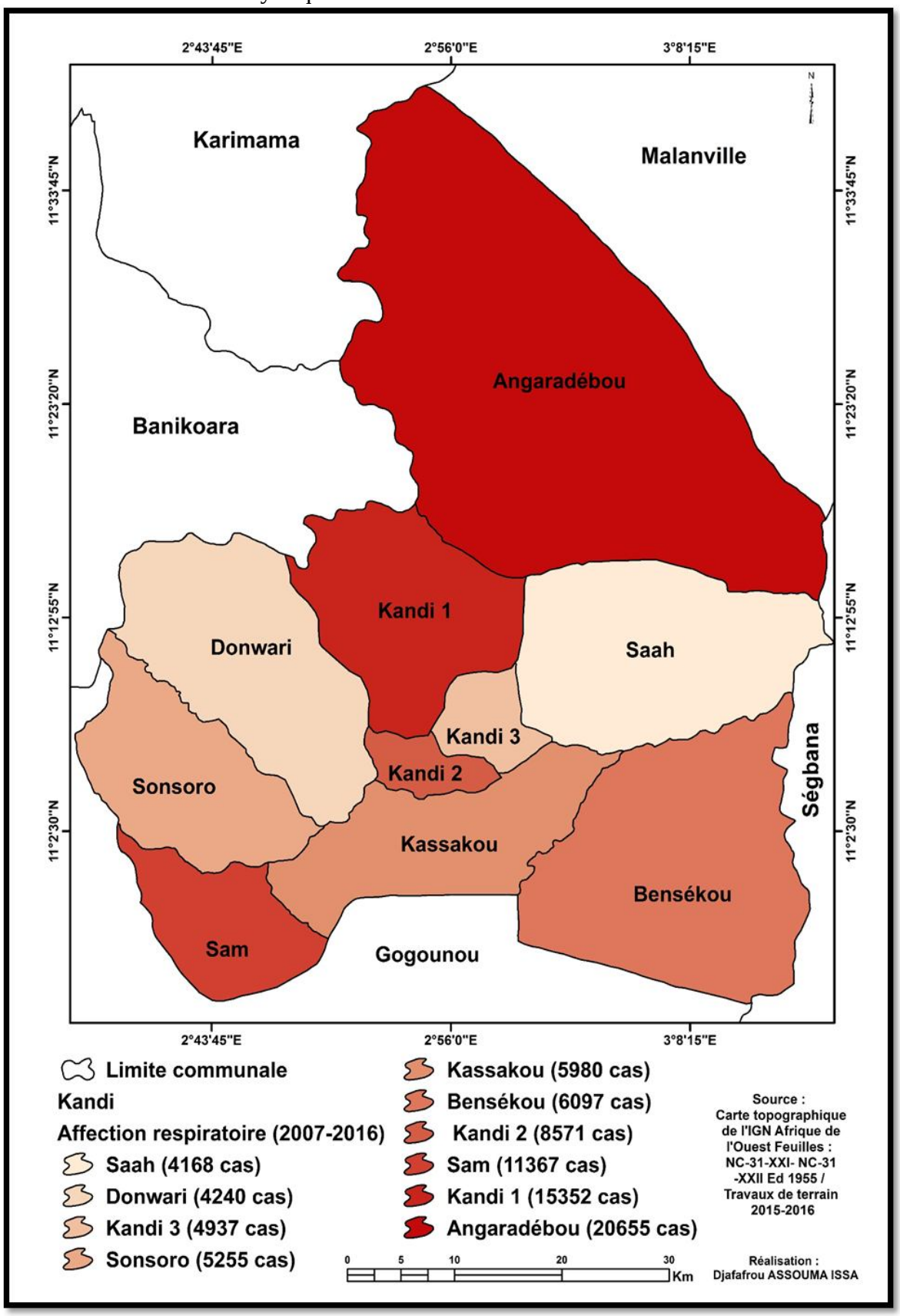

Figure 7 : Répartition spatiale de l'occurrence des affections respiratoires de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source :** SNIGS / MSP / Travaux de terrain 2015-2016

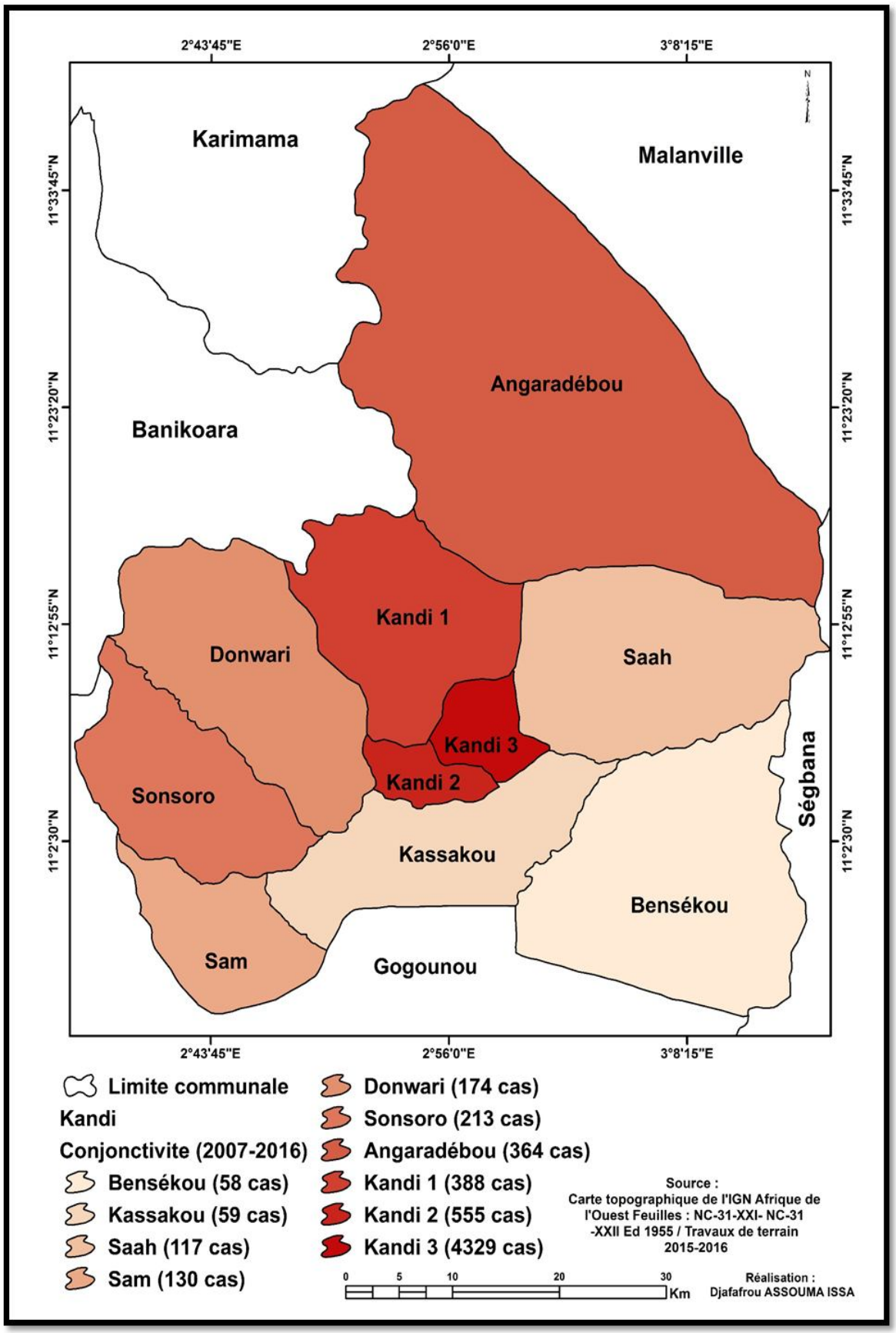

Figure 8 : Répartition spatiale de l'occurrence de la conjonctivite de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain 2015-2016

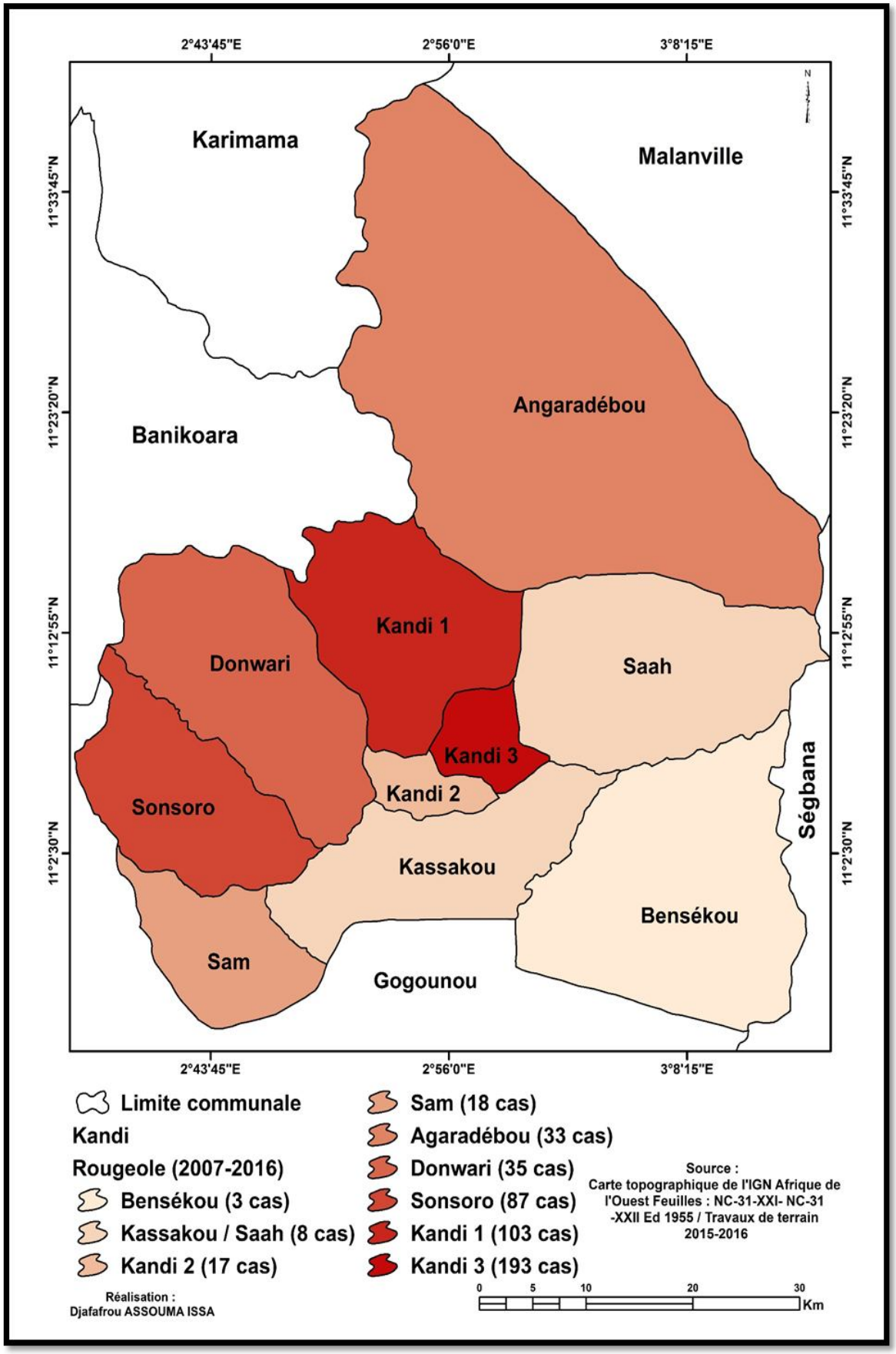

Figure 9 : Répartition spatiale de l'occurrence de la rougeole de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain 2015-2016

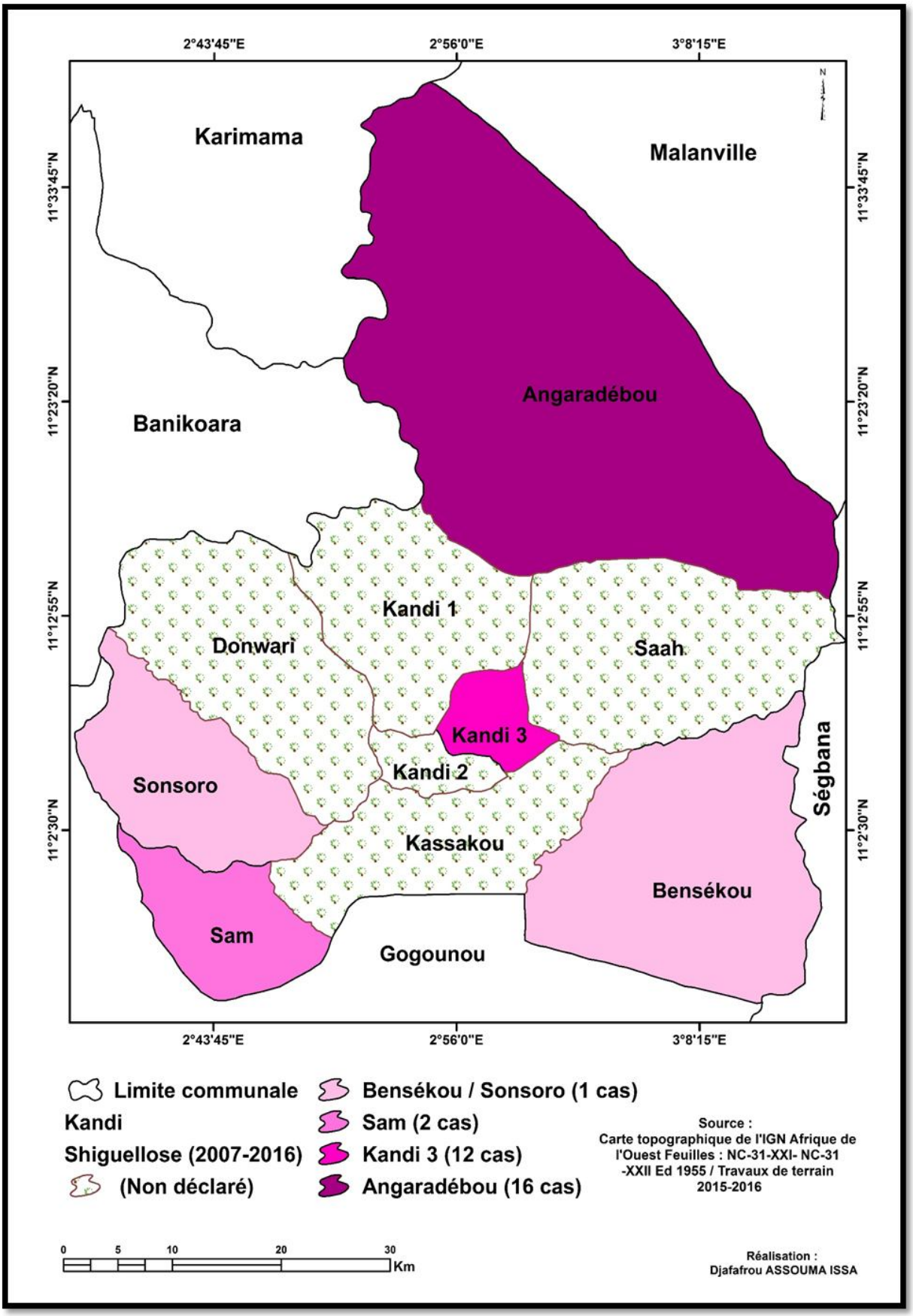

Figure 10 : Répartition spatiale de l'occurrence de la shiguellose de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain 2015-2016

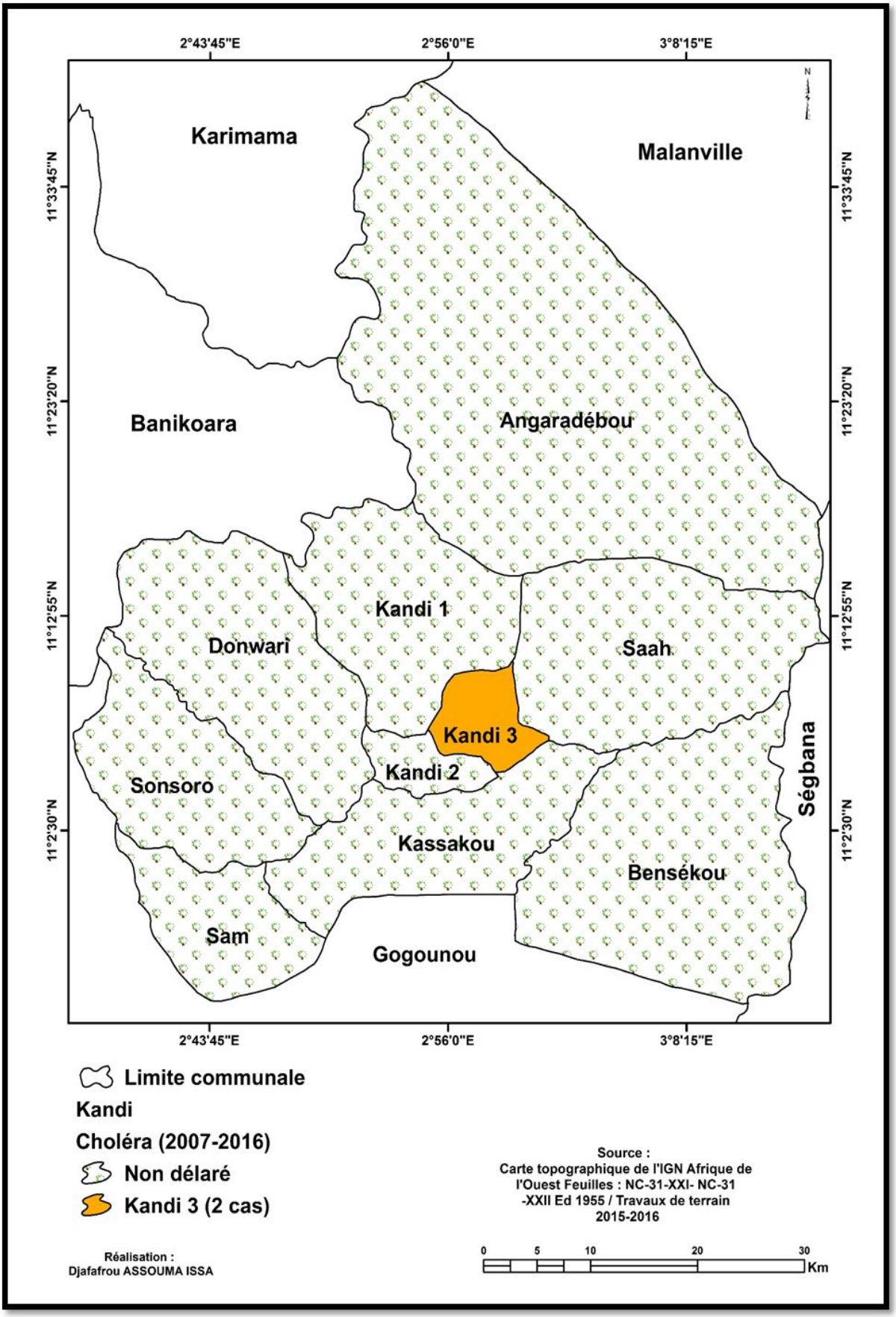

Figure 11 : Répartition spatiale de l'occurrence du choléra de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain 2015-2016

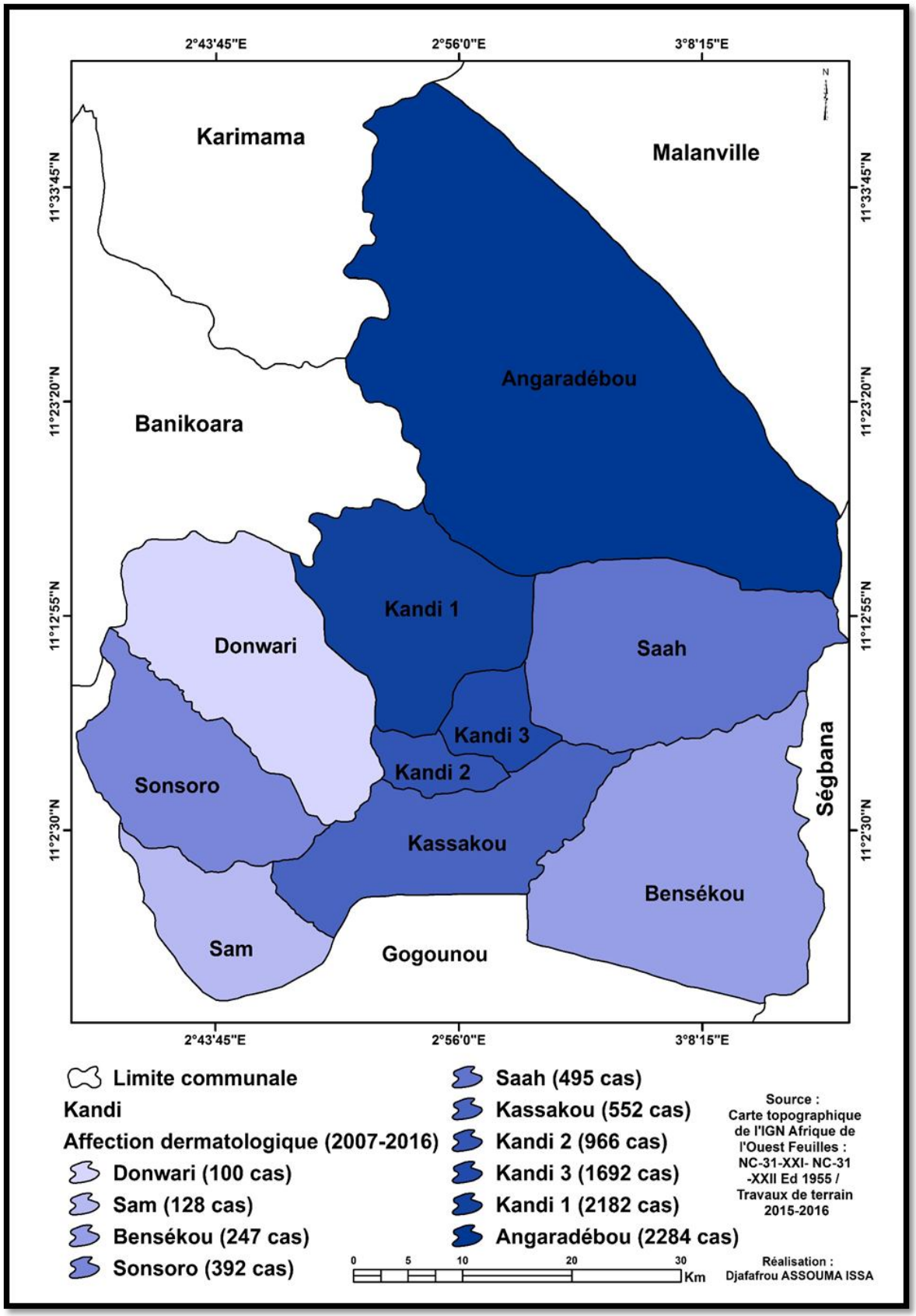

Figure 12 : Répartition spatiale de l'occurrence des affections dermatologiques de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. **Source** : SNIGS / MSP / Travaux de terrain 2015-2016

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cadre conceptuel des facteurs associés à la qualité des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi. / Source : (Dégbey et *al.*, 2010 ; Assouma et *al.*, 2001 ; Assani, 1995) et travaux de terrain, 2016.....31
Figure 2 : Répartition géographique des localités d'enquête de la zone de recherche / Source : Données de terrain collectées 2015-2016.....34
Figure 3 : Situation géographique des sites de prélèvement des infrastructures hydrauliques (eau souterraine) étudiées dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.....39
Figure 4 : Organigramme méthodologique de modélisation de l'accessibilité des populations aux sources d'approvisionnement en eau. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016 ...49
Figure 5 : Organigramme méthodologique de modélisation de vulnérabilité des infrastructures hydrauliques. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016.....52
Figure 6 : Organigramme méthodologique pour l'identification des zones favorables aux forages. Conception : Djafarou ISSA ASSOUMA, 2016.....61
Figure 7 : Situation géographique de la Commune de Kandi. Source : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest. Travaux de terrain, 2015.....64
Figure 8 : Rythmes mensuels de la pluviométrie à Kandi de 1985-2015 / Source : Données de l'ASECNA, 2016.....65
Figure 9 : Variabilité interannuelle des précipitations de 1985 à 2015 dans la Commune de Kandi / Source : Données de l'ASECNA, 2016.....66
Figure 10 : Diagramme climatique de Kandi (1985-2015) / Source : Données de l'ASECNA, 2016.....68
Figure 11 : Rythmes mensuelles de température à Kandi de 1985-2015. Source : Données de l'ASECNA, 2016.....69
Figure 12 : Carte hydrogéologique de la Commune de Kandi. Source : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest. Travaux de terrain, 2016.....72
Figure 13 : Formations pédologiques de la Commune de Kandi. Source : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest ; Travaux de terrain, 2016.....74
Figure 14 : Relief de la Commune de Kandi. Source : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest / Travaux de terrain, 2016.....76
Figure 15 : Réseau hydrographique de la Commune de Kandi. Source : Carte topographique de l'IGN Afrique de l'Ouest / SRTM 2014 de la zone de recherche / Travaux de terrain, 2016 79

Figure 16 : Population la Commune de Kandi par arrondissement au $RGPH_4$. 80
Figure 17 : Répartition spatiale des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi. 88
Figure 18 : Répartition spatiale des Forages équipés de Pompes à Motricité humaine (FPM) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016..90
Figure 19 : Répartition spatiale des Puits Moderne à grand diamètre (PM) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016.....92
Figure 20 : Répartition spatiale des Bornes Fontaines (BF) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016 95
Figure 21 : Distribution spatiale des retenues d'eau dans la Commune de Kandi. Source : CARDER Kandi / CeRPA Borgou-Alibori / Travaux de terrain 2015 - 2016.....99
Figure 22 : Couverture spatiale des Forages dotés de Pompes à Motricité humaine (FPM) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016.....102
Figure 23 : Couverture spatiale des Puits Modernes à grand diamètre (PM) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016.....104
Figure 24 : Couverture spatiale des Bornes Fontaines (BF) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016 106
Figure 25 : Accès des ménages à 100 m des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 – 2016……..108
Figure 26 : Accès des ménages à 500 m des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016 110
Figure 27 : Accès des ménages à 1 Km des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau Kandi / Travaux de terrain 2015 - 2016 112
Figure 28 : Proportions des types d'ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi. 113
Figure 29 : Proportions (%) des ouvrages hydrauliques en panne (PM non inclus) dans la Commune de Kandi. Source : Service Eau, Kandi, 2016.....115
Figure 30 : Taux (%) de desserte en eau potable par arrondissement dans la Commune de Kandi. Source : Service de l'Hydraulique Kandi, 2016 116
Figure 31 : Perception de la population sur la gestion des AEV et des forages publics dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016 121
Figure 32 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la température dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....131
Figure 33 : Vulnérabilité des ressources en eau liée au pH dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....133

Figure 34 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en ammonium dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 – 2016 135
Figure 35 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en nitrate dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....137
Figure 36 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en nitrite dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....140
Figure 37 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en Escherichia Coli dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016 142
Figure 38 : Vulnérabilité des ressources en eau liée à la teneur en coliformes totaux dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 – 2016.....144
Figure 39 : Vulnérabilité des ressources en eau liées aux immondices dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....155
Figure 40 : Répartition spatiale des latrines publiques dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2015 - 2016.....159
Figure 41 : Répartition spatiale de l'occurrence de la diarrhée de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP / Travaux de terrain, 2016 163
Figure 42 : Variation du taux des maladies diarrhéiques de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP / Travaux de terrain, 2016.....164
Figure 43 : Répartition spatiale de l'occurrence des affections gastro-intestinales de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016.....165
Figure 44 : Variation du taux des affections gastro-entérites de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016 166
Figure 45 : Répartition spatiale de l'occurrence du paludisme de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016 167
Figure 46 : Variation du taux du paludisme de 2007 à 2016 dans la Commune de Kandi. Source : SNIGS / MSP ; Travaux de terrain, 2016 168
Figure 47 : Types d'élevage pratiqués dans la Commune de Kandi / Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016.....172
Figure 48 : Principales cultures pratiquées dans la Commune de Kandi / Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016.....173
Figure 49 : Avis des agriculteurs sur l'utilisation des intrants agricoles. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016.....174
Figure 50 : Avis des pêcheurs sur l'utilisation des produits chimiques. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016.....174

Figure 51 : Répartition des linéaments identifiés par zone dans la Commune de Kandi. Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016 185
Figure 52 : Densité de linéaments reclassifiée dans la Commune de Kandi. Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016 187
Figure 53 : Epaisseur d'altérite (recouvrement) dans la Commune Kandi. Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016 189
Figure 54 : Pondération de la lithologie dans la Commune de Kandi. Source : D. G. Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016 191
Figure 55 : Superficie occupée par chaque structure lithologie dans la Commune de Kandi. Source : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016 192
Figure 56 : Densité de drainage dans la Commune de Kandi. Source : Image SRTM, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016 194
Figure 57 : Répartition spatiale des hauteurs de pluie classifiée dans la Commune de Kandi. 196
Figure 58 : Longueur de la pente (LS) reclassifiée dans la Commune de Kandi. Source : Images Landsat OLI / TIRS, 2013 / Travaux de terrain, Kandi, 2016 198
Figure 59 : Aptitude hydrogéologique de la Commune de Kandi. 200
Figure 60 : Potentiel en ressource en eau souterraine dans la Commune de Kandi. Source : Travaux de terrain, Kandi, 2016 201
Figure 61 : Transmissivité des forages par Krigeage dans la Commune de Kandi. Source :.. 203
Figure 62 : Spatialisation du débit des ouvrages hydrauliques par Krigeage dans la Commune de Kandi. Source : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016 205
Figure 63 : Niveau statique des Puits à grands diamètre par Krigeage dans la Commune de Kandi. Source : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016 207
Figure 64 : Potentiel hydrodynamique dans la Commune de Kandi. Source : DG Eau / Travaux de terrain, Kandi, 2016 209
Figure 65 : Pourcentage en potentiel hydrodynamique dans la Commune de Kandi. Source : 210

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Données acquises et leurs usages pour la réalisation de l'objectif 1 37
Tableau II : Données acquises et leurs utilités pour la réalisation de l'objectif 2.....40
Tableau III : Données acquises et leurs utilités pour la réalisation de l'objectif 3 42
Tableau IV : Classification de la densité des linéaments et pondération suivant l'influence sur le potentiel en eau.....55
Tableau V : Classification de l'épaisseur du recouvrement et pondération des couches suivant l'influence sur le potentiel en eau 56
Tableau VI : Pondération de la lithologie selon l'influence sur le potentiel en eau 57
Tableau VII : Classification et pondération de la carte de drainage 57
Tableau VIII : Classification et pondération de la pluviométrie.....58
Tableau IX : Classification et pondération de la couche de la topographie 58
Tableau X : Facteur de transmissivité 59
Tableau XI : Facteur de débit.....59
Tableau XII : Facteur de niveau statique.....60
Tableau XIII : Périodes de pénurie d'eau.....67
Tableau XIV : Sources d'approvisionnement en eau utilisées par les acteurs 100
Tableau XV : Formes de régie 118
Tableau XVI : Types de marchés publics.....118
Tableau XVII : Gestion déléguée.....119
Tableau XVIII : Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces du secteur eau dans la Commune de Kandi.....122
Tableau XIX : Mode d'évacuation des excréta.....158
Tableau XX : Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et assainissement dans la Commune de Kandi.....160
Tableau XXI : Types de maladies hydriques.....162
Tableau XXII : Activités exercées aux abords des sources d'eau.....169
Tableau XXIII : Impacts des activités aux abords des points d'eau 170
Tableau XXIV : Rapports avec les autres usagers.....170

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : AEV à Donwari et une BF à dans un quartier de Donwari.....93
Photo 2 : Dispositif de production et de traitement d'eau brute de la SONEB à Kandifô (Prise de vue Assouma, mars 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.....97
Photo 3 : FPM doté de pompes manuelles (à bras) à Tissarou et (à pied) à Banikani (Prise de vue, Assouma, juin 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.....146
Photo 4 : FPM à Kassakou envahi par un champ de coton (Prise de vue, Assouma, décembre 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016 146
Photo 5 : Puits Modernes à grands diamètre (PM) à Padé (Prise de vue, Assouma, novembre 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016. 147
Photo 6 : Puits Modernes à grands diamètre (PM) à Fouret (Prise de vue, Assouma, mars et juillet 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.....148
Photo 7 : Puits Traditionnel (PT) de fortune à Fouet dans l'arrondissement de Saah (Prise de vue, Assouma, février 2015). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016 149
Photo 8 : Puits Traditionnel (PT) dans un camp peul à Firi dans l'arrondissement de Kandi 3 (Prise de vue, Assouma, janvier 2015). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016.....150
Photo 9 : Puits Traditionnel (PT) à Kofoissa à gauche et à Lolo à droite dans l'arrondissement d'Angaradébou (Prise de vue, Assouma, février 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016 150
Photo 10 : Activités domestiques et abreuvement des animaux au niveau des retenues d'eau à Bénè et à Yaoudarou, arrondissement de Sonsoro (Prise de vue, Assouma, janvier 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 - 2016 151
Photo 11 : Approvisionnement en eau d'un usager dans la rivière de l'Alibori et activités de ménage dans le lit du cours d'eau de Sosso à Kandifô. (Prise de vue, Assouma, janvier 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 – 2016.....152
Photo 12 : Activités domestiques et abreuvement des animaux au niveau des retenues d'eau à Nouri, arrondissement de Bensékou (Prise de vue, Assouma, février 2016). Source : Travaux de terrain, 2015 – 2016.....171

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE 2
DEDICACE 3
REMERCIEMENTS 4
SIGLES ET ACRONYMES 5
RESUME 7
ABSTRACT 8
INTRODUCTION GENERALE 9
PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE, GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LA COMMUNE DE KANDI 14
Chapitre 1 : Cadre théorique et conceptuel 15
1.1- Cadre théorique 15
1.1.1- Contexte d'étude 15
1.1.2- Objectifs de l'étude 18
1.1.3- Hypothèses de travail 19
1.1.4- Clarification des concepts 19
1.1.5- Revue de littérature 25
1.1.5.1- Etat des lieux des sources d'approvisionnement en eau 25
1.1.5.2- Système d'Information Géographique (SIG) et maladies hydriques 27
1.1.5.3- Système d'Information Géographique (SIG) et gestion des ressources en eau 28
1.2- Cadre conceptuel de l'étude 30
Chapitre 2 : Démarche méthodologique 33
2.1- Méthodes de collecte des données 33
2.1.1- Collecte des données d'enquêtes socio-économiques 33
2.1.2- Collecte des données cartographiques 36
2.1.3- Collecte des données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau 36
2.1.4- Collecte des données pour la détermination de la vulnérabilité des ouvrages d'eau 38
2.1.5- Collecte des données pour la détermination des zones favorables aux forages 41
2.2- Méthode de traitement des données 42
2.2.1- Traitement des données collectées 43
2.2.2- Traitement des données pour la caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi 46

2.2.3- Traitement des données pour la détermination de la vulnérabilité liée aux différents usages des sources d'approvisionnement en eau 50
2.2.4- Traitement des données pour la détermination des zones favorables à l'implantation de forages.....53
2.2.4.1- Analyse du potentiel en eau souterraine 53
2.2.4.2- Analyse du potentiel hydraulique des forages d'exploitation.....59
2.3- Difficultés rencontrées et limites de l'étude.....62
Conclusion partielle.....62
Chapitre 3 : Cadre géographique et caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi 63
3.1- Cadre géographique.....63
3.1.1- Situation du milieu de recherche.....63
3.1.2- Caractéristiques physiques.....65
3.1.2.1- Contexte climatique.....65
3.1.2.1.1- Tendance pluviométrique.....65
3.1.2.1.2- Variabilité interannuelle de la pluviométrie.....66
3.1.2.1.3- Bilan climatique.....68
3.1.2.1.4- Tendance thermométrique, insolation et vent 69
3.1.2.2- Contexte hydrogéologique et pédologique 70
3.1.2.2.1- Contexte hydrogéologique 70
3.1.2.2.2- Formations pédologiques 73
3.1.2.3- Formations végétales 75
3.1.2.4- Relief et réseau hydrographique.....75
3.1.2.4.1- Relief.....75
3.1.2.4.2- Réseau hydrographique.....77
3.1.3- Caractéristiques socio-démographiques et économiques 80
3.1.3.1- Evolution démographique.....80
3.1.3.2- Groupes socio-culturels 81
3.1.3.3- Place et sacralisation de l'eau selon les ethnies dans la Commune de Kandi.....82
3.1.3.3.1- Place de l'eau selon les ethnies dans la Commune de Kandi.....82
3.1.3.3.2- Sacralisation des cours et plans d'eau dans la Commune de Kandi.....83
3.1.3.4- Transmission des maladies hydriques et leur prévalence dans la Commune de Kandi 83
3.1.3.4.1- Maladies hydriques transmises par les germes contenus dans l'eau 83

3.1.3.4.2- Maladies hydriques issues de micro-organismes résidant dans l'eau.....84
3.1.3.4.3- Maladies hydriques transmises par les vecteurs extérieurs à l'eau 84
3.1.3.4.3- Maladies hydriques dues à la mauvaise qualité de l'hygiène et de l'assainissement de base 84
3.1.4- Activités économiques.....85
3.1.4.1- Agriculture 85
3.1.4.2- Elevage.....86
3.1.4.3- Pêche.....87
3.2- Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau dans la Commune de Kandi...87
3.2.1- Typologie des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Kandi 87
3.2.1.1- Répartition spatiale des infrastructures hydrauliques de la DG Eau.....87
3.2.1.1.1- Répartition spatiale des Forages équipés de Pompes à Motricité humaine (FPM)..89
3.2.1.1.2- Répartition spatiale des Puits Modernes à grand diamètre (PM).....91
3.2.1.1.3- Répartition spatiale des Bornes Fontaines (BF).....93
3.2.1.2- Réseau d'adduction d'eau de la SONEB 96
3.2.1.3- Puits Traditionnels (PT).....97
3.2.1.4- Eaux de surface 97
3.2.2- Couverture spatiale des infrastructures hydrauliques.....100
3.2.3- Analyse spatiale des infrastructures hydrauliques 107
3.2.3.1- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 100 m des habitations.....107
3.2.3.2- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 500 m des habitations.....109
3.2.3.3- Accessibilité des infrastructures hydrauliques à 1Km des habitations.....111
3.2.4- Etats des lieux des sources d'approvisionnement en eau 113
3.2.4.1- Infrastructures hydrauliques de la Direction Générale de l'Eau (DG Eau).....113
3.2.4.2- Taux de panne des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi.....114
3.2.4.3- Taux de desserte en eau par arrondissement dans la Commune de Kandi 115
3.2.5- Analyse des modes de gestion des sources d'approvisionnement en eau 116
3.2.5.1- Généralité sur les modes de gestion des ouvrages hydrauliques.....117
3.2.5.1.1- Gestion directe.....117
3.2.5.1.2- Marchés publics.....118
3.2.5.1.3- Délégation 118
3.2.5.2- Acteurs communaux (Elus locaux).....119
3.2.5.3- Acteurs privés AEP (fermiers, délégataires, Artisans réparateurs).....119
3.2.5.4- Acteurs déconcentrés.....120

3.2.5.5- Services publics de l'eau à partir des BF/AEV et des forages (FPM).....121
3.2.5.6- Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) du sous-secteur Eau.....122
3.3- Discussion sur la caractérisation des sources d'eau dans la Commune de Kandi ..... 123_Toc507597
3.3.1- Infrastructures hydrauliques et leurs états dans la Commune de Kandi.....124
3.3.2- Répartition des ouvrages hydrauliques dans la Commune de Kandi 124
3.3.3- SIG et gestion des infrastructures hydrauliques.....126
Conclusion partielle.....127
DEUXIEME PARTIE : ANALYSE DE LA VULNERABILITE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET IDENTIFICATION DES ZONES FAVORABLES A L'IMPLANTATION DE FORAGES DANS LA COMMUNE DE KANDI.....129
Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau 130
4.1- Cartographie de la vulnérabilité des infrastructures hydrauliques.....130
4.1.1- Distribution spatiale de la température des ouvrages hydrauliques 130
4.1.2- Distribution spatio-temporelle du pH des ouvrages hydrauliques 132
4.1.3- Distribution spatiale de l'ammonium des ouvrages hydrauliques 134
4.1.4- Distribution spatiale des nitrates des ouvrages hydrauliques.....136
4.1.5- Distribution spatiale des nitrites des ouvrages hydrauliques 138
4.1.6- Distribution spatiale des Escherichia Coli des ouvrages hydrauliques 141
4.1.7- Distribution spatiale des Coliformes totaux des ouvrages hydrauliques 143
4.2- Sources d'approvisionnement en eau et pollution.....145
4.2.1- Forages dotés de Pompes Manuelles (FPM).....145
4.2.2- Puits Modernes à grands diamètre (PM).....147
4.2.3- Puits Traditionnels (PT).....148
4.2.4- Eaux de surface 151
4.3- Impact de l'assainissement sur les ressources en eau.....153
4.3.1- Par rapport aux immondices 153
4.3.2- Par rapport aux eaux usées.....156
4.3.3- Par rapport aux latrines.....157
4.4- Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) dans le secteur de l'hygiène et assainissement.....160
4.5- Lien entre qualité de l'eau et santé.....161
4.6- Influence des activités socio-économique sur les ressources en eau 169

4.6.1- Activité exercées aux abords des sources d'eau.....169
4.6.2- Impacts des activités sur les ressources en eau 170
4.6.3- Relation entre usagers dans le secteur de l'approvisionnement en eau.....170
4.6.3.1- Conditions d'hygiène des éleveurs 171
4.6.3.2- Conditions d'hygiène des agriculteurs.....172
4.6.3.3- Conditions d'hygiène des pêcheurs 174
4.7- Discussion sur les déterminants de la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau.....175
Conclusion partielle.....181
Chapitre 5 : Identification des zones favorables à l'implantation de forage.....183
5.1- Analyse du potentiel en eau souterraine 183
5.1.1- Densité de linéaments.....183
5.1.2- Epaisseur d'altérite (recouvrement) 188
5.1.3- Lithologie.....190
5.1.4- Densité de drainage 193
5.1.5- Hauteurs de pluies annuelles.....195
5.1.6- Topographie (LS) 197
5.1.7 - Cartographie de l'aptitude hydrogéologique.....199
5.2- Analyse de la productivité hydrodynamique 202
5.2.1- Transmissivité 202
5.2.2- Débit 204
5.2.3- Niveau statique.....206
5.2.4- Potentiel hydrodynamique 208
5.3- Discussion sur l'identification des sites favorables aux forages.....211
5.3.1- Potentiel en eau souterraine 211
5.3.2- Productivité hydrodynamique 212
Conclusion partielle.....213
CONCLUSION GENERALE 214
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 219
ANNEXES 233
LISTE DES FIGURES.....267
LISTE DES TABLEAUX.....271
LISTE DES PHOTOS.....272
TABLE DES MATIÈRES.....273