

Apport du SIG à l'identification de site adéquat au plan environnemental à l'installation des dépotoirs d'ordures ménagères dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

Kpan Noel VEI, Maître-assistant, Département de Géographie
Université Alassane OUATTARA de Bouaké, Côte d'Ivoire
E. Mail : vekanou@yahoo.fr

Résumé

En Côte d'Ivoire, en raison de sa capacité d'accueil, la décharge d'Akouédo dans le district d'Abidjan semble dépassée. Dans ce cas, la seule alternative est le choix adéquat d'un site adapté au plan socio-environnemental pour l'implantation d'une nouvelle décharge. En effet, à Abidjan les ordures sont responsables de dégâts assez importants par la prolifération des vecteurs de maladies comme le choléra, la fièvre typhoïde, le paludisme. Dans ce contexte, le SIG grâce à son approche holistique, synoptique et systémique, son analyse spatiale multicritères à travers l'intégration de données multi-sources et multi-scalaires peut permettre d'orienter les décideurs sur le choix d'un site adapté pour accueillir une nouvelle décharge. Dans cette approche, à partir des données cartographiques et socio-économiques, des traitements ont été effectués afin de cartographier le site adéquat pour un dépôt d'ordures dans le district d'Abidjan. Le site identifié estimé à 11 548,25 hectares semble répondre à ces exigences environnementales que sont l'absence de pente, un sol adapté, la direction des vents maîtrisée, l'éloignement des cours d'eau et des habitations.

Mots clés : SIG, Sites adéquats, Dépotoirs d'ordures, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

In Côte d'Ivoire, because of the accommodation facilities of the dump of Akouédo in the district of Abidjan, which seems exceeded. The only alternative is the adequate choice of one or several sites adapted to the socio-environmental plan for a new dump. Furthermore, the garbage is responsible for rather important damages by the proliferation of the vectors of diseases as the cholera, the typhoid, the malaria. In this context, the GIS thanks to its holistic, synoptic and systematic approach, its spatial analysis multicriteria through the integration of data multi-sources and multi-scalar can allow to take up this challenge. In this approach, from the vectorial layers, data to raster, and socioeconomic data, we made data processings to map one or several adequate sites for a garbage dump in the district of Abidjan. The identified site estimated at 11 548,25 hectares seems to answer these environmental requirements that are the absence of slope, an adapted ground, the mastered direction of winds, the estrangement of streams and houses.

Keywords : GIS, Adequate sites, Garbage dumps of garbage Abidjan, Côte d'Ivoire

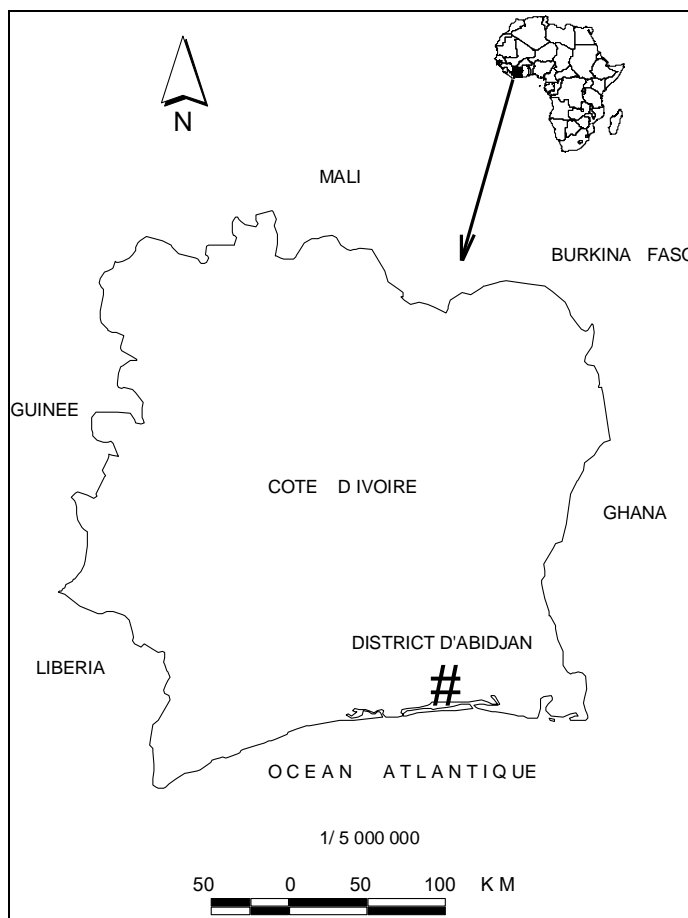
1. Introduction

En Côte d'Ivoire, pendant le conflit militaro-civil de 2002 à 2011, c'est environ plus d'un million de population des régions Centre Nord et Ouest qui ont afflué vers la capitale économique au Sud. Cet essor remarquable a fait estimer la population de la ville d'Abidjan à environ 5 878 609 en 2011. Ceci équivaut à 21 % de la population nationale et 55 % de la population urbaine (Institut National de la Statistique, 2011).

En effet, avec la venue de déplacés, ce sont des tonnes d'ordures ménagères qui sont produites chaque jour. Pour preuve, en 2010, c'est environ 929.887,43 tonnes d'ordures ménagères qui ont été produites à l'échelle du district. Pour des raisons budgétaires, c'est seulement 46 % de ces tonnes d'ordures qui ont été collectées à raison d'un coût estimé à 6 185 260 903 FCFA (Agence Nationale l'Environnement, 2010). De plus, la décharge publique d'Akouédo censée accueillir ces ordures est largement dépassée. Cette décharge qui date de 1960 est située sur un sol meuble. Elle est située à quelques centaines de mètres du plan d'eau lagunaire et à une hauteur de 4 à 8 mètres d'altitude. Avec une superficie estimée à 200 m², cette décharge reçoit 11 043 m³ d'ordures ménagères non traitées par jour (LE REPERE, 2008). En 2006, elle a reçu un dépôt supplémentaire de 90 m³ de déchets toxiques. Comme conséquences directes, 96 % des ménages aux alentours de la décharge éprouvent des difficultés liées aux nuisances (moustiques, mouches, ordures) et des pathologies comme le rhume, la diarrhée (ADJIRI M., 2010). A l'échelle du district d'Abidjan, les ordures sont responsables de dégâts assez importants du fait de la prolifération des vecteurs de maladies comme le choléra, la fièvre typhoïde, le paludisme.

En raison de la faible capacité d'accueil de la décharge d'Akouédo (située en pleine ville) qui semble dépassée, la seule alternative est le choix adéquat d'un site adapté au plan socio-environnemental pour une nouvelle décharge. Autre constat, le centre d'enfouissement technique prévu à Atiékoï au Nord d'Abidjan (sans étude préalable) pour remplacer celui d'Akouédo, se situe en amont de la nappe phréatique qui alimente la ville d'Abidjan (BIEMI J., 2006). Ce site par conséquent paraît inapte à toute installation de dépotoirs d'ordures ménagères. Dans ce contexte, le SIG grâce à son approche holistique, synoptique et systémique, son analyse spatiale multicritères à travers l'intégration de données multi-sources et multi scalaires peut nous permettre de localiser l'implantation d'une nouvelle décharge à l'échelle du district d'Abidjan (figure 1).

Figure 1 : Croquis de localisation du district d'Abidjan



Source : bnetd/CCT

2. Objectifs

2.1. Objectifs généraux

Il s'agit d'identifier des sites adaptés, et sans risques environnementaux et sociaux à toute installation de dépôts d'ordures ménagères dans le district d'Abidjan.

2.2. Objectifs concrets ou opérationnels

Comme objectifs concrets ou opérationnels, cette étude consiste à :

- élaborer une carte d'occupation du sol à l'échelle du district d'Abidjan ;
- élaborer une carte de pente à l'échelle du district d'Abidjan ;
- concevoir un modèle cartographique synthétique identifiant le site adapté à une installation de dépotoirs.

3. Approche conceptuelle, Matériel et Méthode utilisés

Pour atteindre les objectifs l'approche et la méthode suivies ont consisté à une investigation dans diverses structures techniques gouvernementales pour recueillir des données et informations disponibles.

3.1. Approche conceptuelle et état des connaissances antérieures

La littérature relative à la problématique de la gestion des ordures ménagères tourne plus autour des concepts relatifs au mode de collecte et de traitement qu'à celui de l'emplacement du site.

Concernant le mode de collecte, il est parmi les plus complexes auxquels doivent répondre les gestionnaires urbains en raison de leurs effets sur la santé humaine et le développement durable (ATTA K., 2005). Dans les grandes villes de l'Afrique subsaharienne, et notamment dans les quartiers périphériques, se développent des initiatives communautaires ou privées qui assurent la pré-collecte des ordures à l'aide de charrettes à traction animale (BAKOU N., 2008). De ce constat, il en découle l'épineuse question budgétaire pouvant couvrir une collecte appropriée. C'est pourquoi, les taux de ramassage des ordures ménagères atteignent rarement 50% des ordures produites (NYASSOGBO K., 2005). Dans le district d'Abidjan, c'est environ 46% des tonnes d'ordures produites qui sont collectées (Agence Nationale de l'Environnement, 2010).

Quant au mode de traitement, la faiblesse du taux de couverture de ce service important impacte sur le milieu créant ainsi un environnement malsain caractérisé par la pollution de l'air, du sol, du sous-sol et la dégradation du cadre de vie des populations (SEKKAT Z., 2000).

En effet, les opérations de traitement et de recyclage relatives à la collecte, au tri sélectif des déchets ménagers devraient prendre en compte la prévention, la valorisation et le recyclage. Or, dans ces pays, comme c'est le cas à Abidjan en Côte d'Ivoire, c'est parfois l'incinération des ordures qui est de mise (MINEFI A., 2008). Toutes ces pratiques auraient des conséquences en raison des rigueurs du climat (pluie et vent). C'est pourquoi, l'émergence des cas de cancer et autres tumeurs auraient des liens avec ces ordures renfermant du plomb, des solvants des métaux lourds et autres produits très dangereux (BAKOU N., 2008).

Au plan environnemental, le choix d'un site adéquat devrait faire appel à la mise au point des règles de choix en combinant diverses techniques d'analyses multicritères et spatiales dans un environnement SIG (CHORFA B., 2002). En outre, le choix du site doit répondre aux lois et normes en vigueur, en prenant en compte les paramètres spatiaux que sont la direction des vents dominants, la nature du sol en place, le couvert végétal, l'exposition visuelle, la pente du terrain, la superficie du site et le mode de transport (CHORFA B., 2002).

La direction des vents dominants donne une idée sur l'endroit où le dépôt peut être installé afin que les populations soient protégées contre les odeurs et les biogaz. La connaissance de la nature de sol en place est primordiale pour la protection de la nappe souterraine (JOURDA P., 2002). A Abidjan, nous sommes sur le bassin côtier sédimentaire et ce paramètre est déterminant. La connaissance de la nature de l'occupation du sol permet en effet d'éviter toutes les terres agricoles et les zones sensibles telles que les rivières, les côtes. Ceci a pour avantage de lutter entre autre contre la pollution des sols et des ressources en eau.

La prise en compte des habitations permet de préserver l'esthétique de la ville, et de conserver la beauté des paysages. C'est pourquoi, il faudrait que le dépôt d'ordures soit éloigné des habitations d'une distance raisonnable de 5 à 10 Km (CHORFA B., 2002). Un terrain en pente aura pour conséquences l'écoulement des lixiviats, surtout en saison pluvieuse. La norme environnementale requise pour un dépotoir est une pente inférieure à 5 % (CHORFA B., 2002) (ATTA K., 2005).

La superficie du site doit être proportionnelle au nombre d'habitants et au volume de production des déchets par jour et par habitant. Et, enfin, le transport sera optimisé afin de choisir le plus court chemin, pour minimiser les coûts de transport (MATIKI A. K., 2008).

3.2. Approche méthodologique

La démarche adoptée dans cette étude fait appel au recueil et au croisement des données cartographiques, et

socio économiques. Pour cela, nous avons créé des zones tampons de 1 à 5 km par rapport au plan d'eau et aux habitations en place. Ces zones se justifient pour éviter un contact entre les habitations et les ordures comme c'est le cas à la décharge d'Akouédo (BIEMI J., 2006).

Ce sont ces paramètres environnementaux qui seront utilisées dans la suite du travail. Le système d'aide à la décision sur le choix des sites de dépôts d'ordures est le premier objectif de cette approche méthodologique. Celle-ci fait appel à la mise au point des règles de choix des sites, en combinant diverses techniques de l'analyse multicritère et spatiale dans un environnement SIG. Dans cette approche, à partir des données raster rendues en couches vectorielles, et des données socio-économiques seront croisées pour cartographier le site adéquat pour un dépôt d'ordures dans le district d'Abidjan.

Pour cela, des critères de choix objectifs ont été établis en prenant des paramètres que sont la direction des vents dominants, la nature du sol en place, le couvert végétal, l'exposition visuelle, la pente du terrain, la superficie du site et le mode de transport.

3.3. Choix des Données et Matériels utilisés

Comme indiqué plus haut, ce choix s'est opéré en tenant compte de la direction des vents dominants, la nature de sol en place, le couvert végétal, l'exposition visuelle, la pente du terrain, la superficie du site, le mode de transport, le tonnage d'ordures et des données cartographiques. Ces données ont été utilisées car elles couvrent parfaitement la zone d'étude qui concerne Abidjan et ses environs.

Pour cela, nous disposons de trois sources de données complémentaires :

- en mode vecteur (une couche des plans d'eau lagunaire et maritime) ;
- en mode raster (une coupure de carte topographique issue du Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT), et une image satellite Quickbird en date de 2008) ;
- des données socio-économiques et climatologiques (tonnages d'ordures ménagères, graphique des vents dominants, pluviométrie).

3.3.1. Données socio-économiques

Les données socio-économiques et climatologiques concernent les tonnages d'ordures ménagères, le graphique des vents dominants et des données de pluviométrie sur la zone d'Abidjan. L'utilisation de ces données se justifie du fait que la prise en compte des tonnages d'ordures permet de faire une meilleure projection de la surface du site à mettre en place. Le vent dominant a pour avantage de dégager tous les secteurs aptes à accueillir un site d'ordures sans effets secondaires pour les populations environnantes. Quant à la pluviométrie, sa prise en compte permet d'avoir une idée de l'infiltration pour la conservation de la nappe phréatique en place surtout qu'Abidjan nous sommes dans le bassin sédimentaire.

3.3.2. Données cartographiques

La carte topographique sur Abidjan à 1/25 000 utilisée est éditée par le centre de cartographie du bureau national d'études techniques et de développement (bnetd) (Centre de Cartographie et de Télédétection, 2005). Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé une coupure de carte topographique. Cette coupure en notre possession a été scannée puis géoréférencée. Le géoréférencement ou correction géométrique comporte trois types :

- une correction des déformations dues au système de prise de vue (l'angle de vue, rotation de la terre) au mouvement (lacet, roulis, tangage) de la plate forme (avion, satellite) ;

- une correction des déformations dues au relief et à la courbure de la terre (effet de déplacement provoqué par une différence d'altitude et un angle de prise de vue autre que 90°, par exemple le sommet d'une colline paraît plus éloigné que sa base) ;
- et un calage de l'image dans un nouveau système de coordonnées ou coregistration (dans un système de projection cartographique) (VEI K. N., 2005).

C'est donc cette dernière phase qui a été utilisée dans le référentiel WGS 84 zone 29 qui concerne le secteur d'étude. Après le géoréférencement, nous avons numérisé les courbes de niveau. Les courbes de niveau ont servi à élaborer le Modèle Numérique d'Élévation (MNE) afin de dégager les zones en pente. En effet, selon CHORFA B. (2002) et AOUTI M. (2003) la pente constitue un élément indispensable à toute installation humaine et surtout pour une décharge d'ordures. La pente requise pour une zone d'installation ne doit pas excéder 5 % (ATTA K. 2005). De façon générale, l'inclinaison de surface laisse présager le type d'érosion et les différentes activités anthropiques selon le milieu urbain ou rural comme le stipule le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Classification des pentes et types d'érosion

N° d'ordre	Inclinaison de surface (°c)	Type d'érosion développée	Limitation de l'activité agricole et de l'aménagement
1	0 < pente < 2	Absence de processus d'érosion.	Pas de limitation.
2	2 < pente < 5	L'érosion en nappe a lieu d'une utilisation incorrecte du sol.	Ne pas labourer et aménager dans le sens de l'inclinaison.
3	5 < pente < 15	Réalisation de l'érosion en nappe et de rigole; le dernier cité a lieu surtout à la suite d'une mauvaise utilisation des sols.	Ne pas labourer et aménager dans le sens de la direction de l'inclinaison et éviter de cultiver et d'aménager sur les collines.
4	pente > 15	Erosion en nappe, de rigole et de ravins.	Interdit à toutes activités humaines nécessitant la destruction complète de la couverture sol.

Source : AOUTI M. (2003)

Pour pouvoir générer le MNE, nous avons utilisé l'extension « Spatial analyst » et le script « Poly_line » du logiciel ArcView 3.2 dont le principe consiste à convertir les courbes de niveau numérisées en un ensemble de points cotés. Cet ensemble de points servira de référence pour une interpolation par un algorithme appliqué sur l'ensemble des points. La méthode d'interpolation par krigeage nous a permis d'évaluer la distance ou la direction entre deux points spatialement corrélés qui décrivent une surface. C'est après cette opération que nous avons généré le MNE (KROU D. K., et al. 2008).

Pour la Cartographie de l'hydrographie, sous le vocable "hydrographie", nous avons regroupé les cours et les retenues d'eau. Etant donné que la carte topographique a été déjà géoréférencée, nous l'avons utilisée pour la numérisation des cours d'eau. Cette opération s'est réalisée directement à l'écran grâce au logiciel ArcView 3.2.

Pour cartographier la pédologie, l'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire à 1/500 000 (Zone Sud-est) dressée par l'ex-ORSTOM a été scannée puis géoréférencée. Nous avons par la suite numérisé les différents ensembles pédologiques en place (KROU D. K. et al. 2008).

L'image satellitaire en mode panchromatique en date de 2008 a été utilisée pour modéliser l'occupation du sol. Le mode panchromatique utilisé se justifie du fait qu'il permet en milieu urbain de mieux ressortir tous

les éléments de la planimétrie que sont les routes et l'habitat par leurs textures facilement perceptibles (Centre de Cartographie et de Télédétection, 2005). Sur cette image, ont été élaborées par vectorisation les couches thématiques que sont la voirie et l'habitat. A cet effet, une norme de vectorisation a été retenue pour toutes les couches géographiques. Le mode vecteur permet la représentation des objets dans un espace continu par opposition au mode maillé. C'est pour bénéficier des avantages spécifiques (stockage, individualisation facile des objets graphiques...) que la vectorisation se présente comme un moyen adapté. Les couches thématiques vectorisées sont stockées sous forme thématique simplifiée par utilisation des primitives que sont :

- la ligne pour représenter les éléments en forme linéaire ;
 - le point pour les éléments ponctuels ;
 - le polygone pour les éléments surfaciques (Centre de Cartographie et de Télédétection, 2005).
- Afin d'éviter d'avoir à gérer de multiples intersections et relations inutiles, les couches géométriques ont été réparties en plusieurs couches indépendantes représentant une classe d'objet :
- les voies de communication (réseau routier) avec une classification topographique et une classification administrative ;
 - l'occupation du sol (végétation, habitat).

Pour une uniformisation, toutes les couches ont été vectorisées selon les prescriptions suivantes :

- distance de nœud de jointure = 5 m ;
- distance à l'arc de jointure = 5 m ;
- distance maximale de rejet = 2 m ;
- point de tolérance = 0 m.

Cette uniformisation spécifie la distance minimale entre le point d'intersection et le sommet des arcs à ajouter. En raison de la surface peu étendue de la zone d'étude, cette option a permis de vectoriser sans difficultés majeures. Les données cartographiques utilisées étant à des échelles différentes, une phase de généralisation cartographique a été opérée pour les rendre superposables. En effet, la carte est conformément à un modèle, un extrait sensé de la réalité très détaillée. Or, pour une meilleure formalisation de la rédaction s'il s'agit des données multi scalaires, une généralisation s'impose afin d'uniformiser l'échelle. Les procédures de généralisation pour transformer l'information contenue dans une carte en passant d'une échelle à une autre sont particulièrement absentes des fonctions habituellement disponibles dans un SIG (VEI K. N., 2005). Dans une phase de généralisation, les opérateurs disponibles sont les :

- opérateurs qui réduisent le nombre d'objets : sélection et/ou élimination ;
- opérateurs spatiaux : simplification, changement de dimension, agrégation ;
- opérateur sémantiques : classification ;
- opérateurs d'affichage : exagération, déplacement.

Cette généralisation s'est effectuée à travers des opérateurs spatiaux de simplification, de changement de dimension et d'agrégation. Les objets et les formes de la surface terrestre y sont représentés dans un format réduit. Dans cette représentation, on utilise un ensemble de signes conventionnels, appelés aussi symboles cartographiques.

3.3.3. Constitution de la base de données

Pour la mise en place de la base de données devant servir à l'élaboration du SIG une spécification technique a été élaborée. Une spécification se définit comme les exigences auxquelles doit se conformer la base de données. Elle comprend deux aspects à savoir la spécification de contenu qui correspond à ce qu'il doit y

avoir dans la base de données. Quant à la spécification de saisie elle correspond aux normes pour la vectorisation des différentes couches. Cette spécification tient compte aussi des critères de qualités de la base de données que sont la cohérence logique, la précision géométrique, l'exhaustivité et la précision sémantique des informations. Pour l'architecture du système, le SIG aura à manipuler deux catégories de données :

- les données alphanumériques ou sémantiques correspondant à l'ensemble des données statistiques manipulées lors de la phase de terrain ;
- les données spatiales servant de support à la représentation cartographique de données alphanumériques.

Les données alphanumériques sont organisées et structurées au sein d'une base de données relationnelles, afin d'en optimiser le stockage et l'analyse. Quant aux données spatiales, elles sont regroupées par thèmes dans des fichiers graphiques appelés couches vectorielles, ce qui a nécessité la création des tables d'attributs.

Les tables d'attributs sont des fichiers qui servent de liens graphiques entre l'information graphique et l'information descriptive (N'GO A., 2001). Elles sont créées automatiquement si et seulement si les données traitées sont géoréférencées. Les informations générées directement par l'ordinateur concernent les nombres identifiant les différents vecteurs, les aires ou longueurs, les périmètres...A ces informations générées, on peut ajouter d'autres informations en fonction de l'objectif fixé.

Ces informations concernent la toponymie, des entités spatiales et d'autres informations caractéristiques en vue des croisements divers. Ainsi, un champ dénommé « code » a été créé pour mieux désigner les entités à l'aide d'une symbologie. Cette symbologie a été créée en utilisant la légende de la base de données géographiques dénommée BDGéo 200 du Centre de Cartographie qui constitue la référence nationale (tableau 2).

Tableau 2 : Codification utilisée

Codes	Signification
10	Forêt
11	Forêt dégradée
12	Savane arborée
13	Savane arbustive
14	Cultures ou Jachères
15	Rizière de bas-fonds
16	Marécages & Mangroves
17	Forêt marécageuse
20	Habitat
30	Retenue d'eau
31	Lagune
32	îles
33	Fleuve
40	Sol Nu
41	Affleurements Rocheux
60	Cocotier
61	Palmier
62	Hévéa
63	Café

64	Cacao
65	Reboisement
67	Vergers
68	Pâturages/Aménagements agricoles
69	Ananas
70	Bananes

Source : Centre de Cartographie et de Télédétection (2005)

A cette codification, d'autres champs sont générés selon les formes des couches géographiques. Tous les thèmes sont regroupés en deux plans vecteurs, que sont les polygones et les lignes. Les polygones concernent tous les éléments surfaciques (habitat, retenue d'eau et l'occupation du sol) et la ligne pour tous les éléments linéaires (hydrographie linéaire, voie de communication). Chaque plan vecteur comporte ses caractéristiques propres comme indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des champs attributaires ‘polygones’

Couches vectorielles	Attribut	Type	Display width (Nombre de caractères)	Maxi width (Taille du champ)
Habitat	Toponymie	string	30	30
	Codification	string	10	10
Retenue d'eau	Toponymie	string	30	30
Occupation du sol	Type	string	2	2
Pédologie	Nature	string	1	1

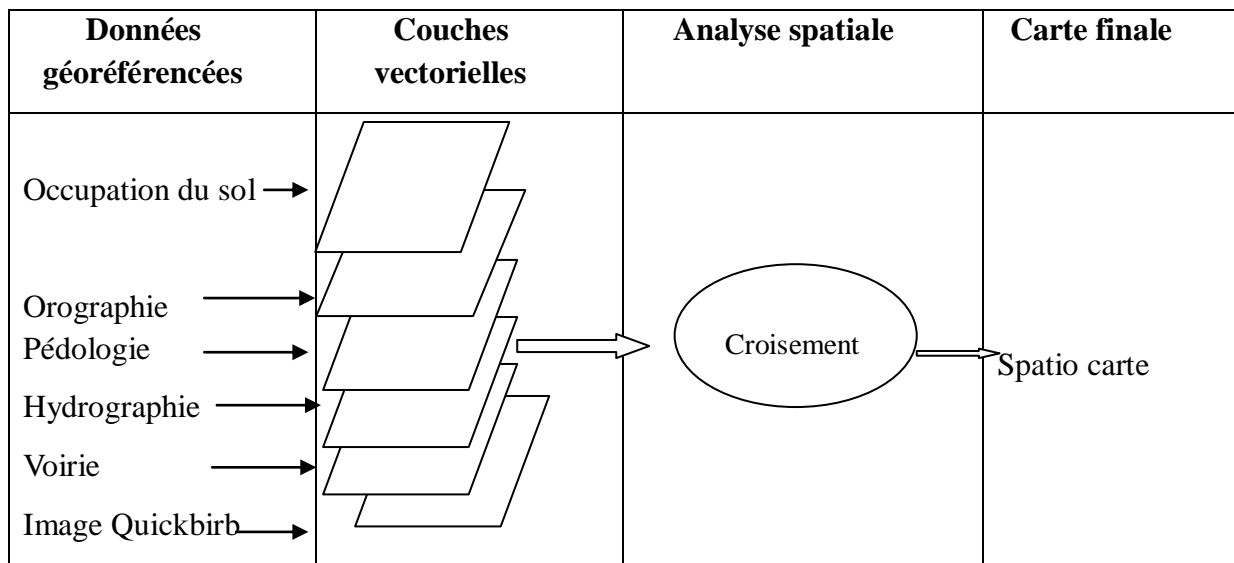
Pour les plans vecteurs linéaires les caractéristiques des champs attributaires sont contenus dans le tableau 4 suivant.

Tableau 4 : Caractéristiques des champs attributaires ‘linéaires’

Couches vectorielles	Attribut	Type	Display width (Nombre de caractères)	Maxi width (Taille du champ)
Hydrographie linéaire	Nature	simple	1	-
	Toponymie	simple	30	30
Voirie	Nature	string	1	1
Orographie	Nature	string	1	1

Pour constituer ces plans vecteurs, chaque thème a été généré à partir du traitement des données par la vectorisation. Pour une codification aisée des attributs, on a développé à l'aide du langage « Avenue » des extensions dénommées formulaire de saisie consultations et des liens dynamiques multiples. Toutes les couches vectorielles générées (habitat et occupation du sol combinés, Hydrographie linéaire et surfacique combinées) ont été croisées afin de dégager la carte finale qui correspond au site idéal (figure 2).

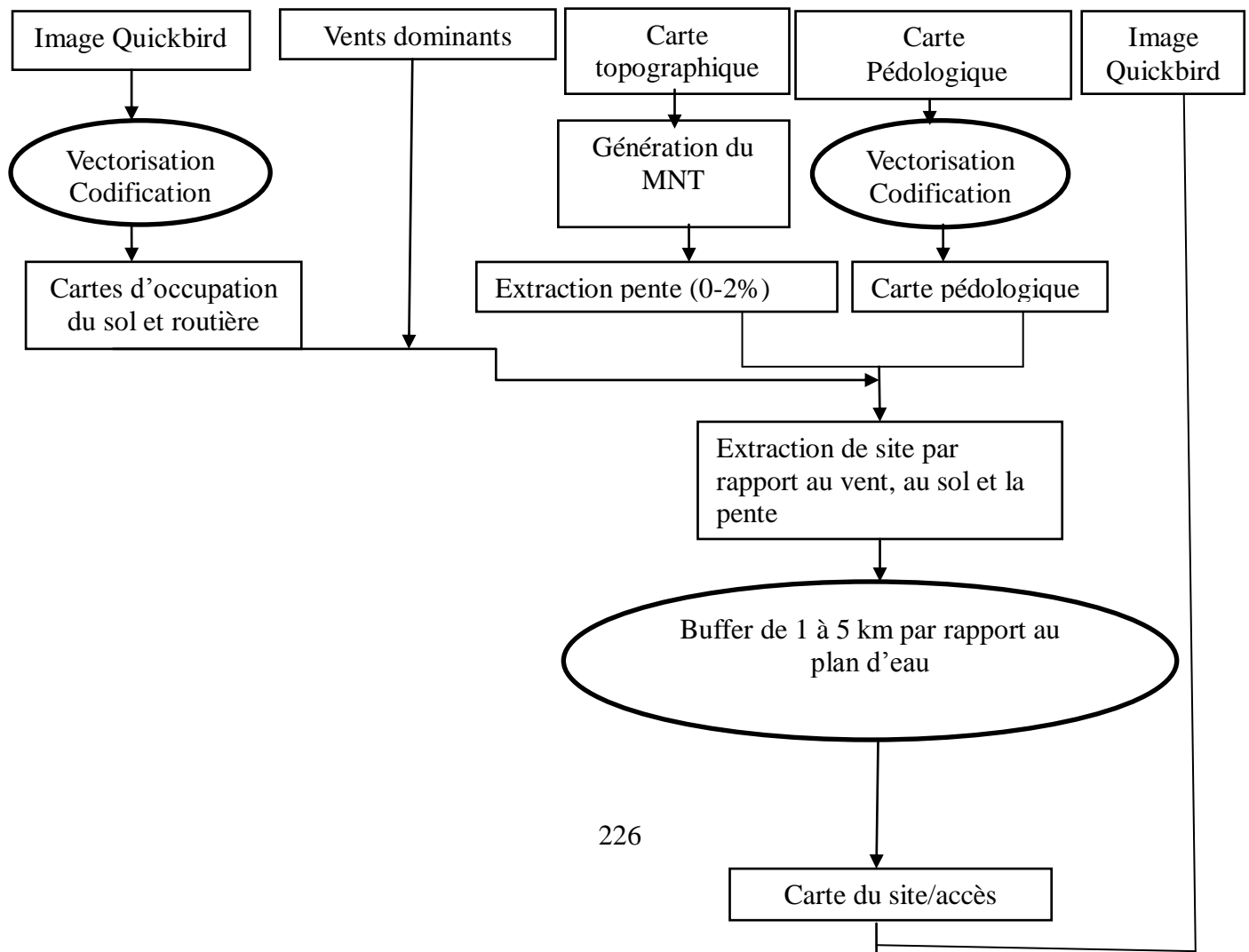
Figure 2 : Disposition des couches vectorielles utilisées



3.3.4. Conception et élaboration des requêtes

L'objectif final de notre travail est de sortir des cartes. Chacune des cartes que nous nous proposons d'élaborer répond à certains critères. Tous ces critères sont introduits dans notre projet par le biais de requêtes. La combinaison des indicateurs nous a permis enfin d'obtenir la zone idéale pour la construction d'une décharge d'ordures ménagères (figure 3).

Figure 3 : Schéma récapitulatif de la mise en place du SIG

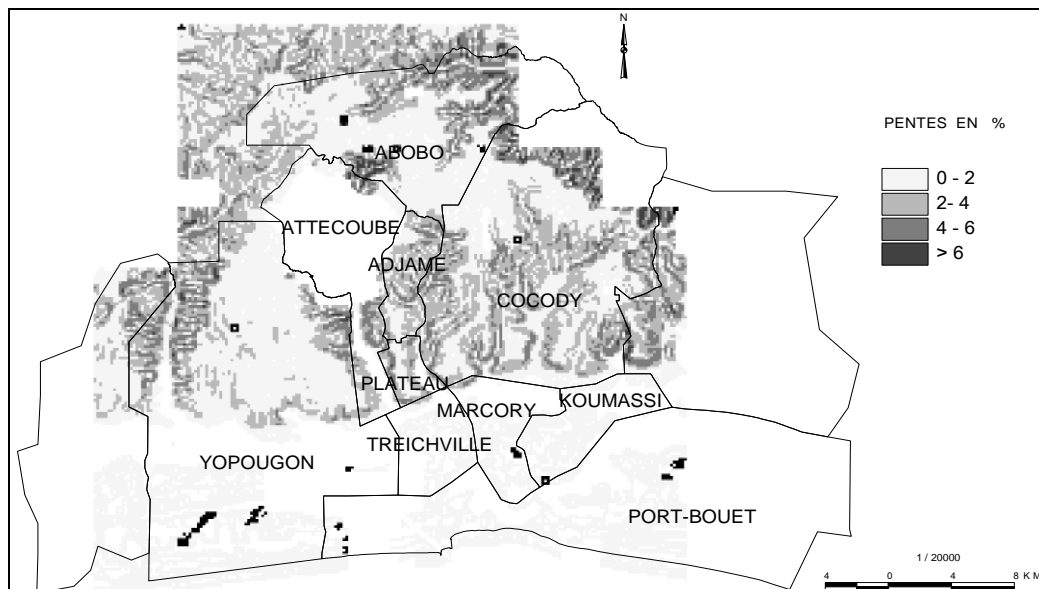


À la suite de ces traitements, quels résultats avons-nous obtenus ?

4. Résultats obtenus

Les résultats obtenus ont été produits sous formes cartographiques. La carte a été utilisée pour présenter les résultats, car nous pensons qu'elle constitue un meilleur outil de communication par son aspect synthétique. Quant au choix du site adéquat à l'emplacement d'une nouvelle décharge, les modèles cartographiques suivants ont été réalisés pour répondre à cette préoccupation. Il s'agit de la carte des pentes à Abidjan et ses environs (Figure 4), de la carte d'occupation du sol à Abidjan et ses environs (figure 5), de la carte pédologique d'Abidjan et ses environs (figure 6), de la carte de la voirie d'Abidjan et ses environs (figure 7) et de la spatio-carte du site adéquat à l'installation d'une décharge publique (figure 8). La figure (4) des pentes à Abidjan et ses environs nous permet de mieux apprécier la topographie en place. Avec sa situation sur le bassin côtier, on remarque des pentes relativement faibles. Celles-ci sont comprises entre 0 et 2 % dans le secteur Sud qui regroupe les communes de PORT-BOUET, TREICHVILLE, MARCORY et KOUMASSI. Dans les communes du Centre, les pentes sont comprises entre 2 et 4 %, notamment au PLATEAU, ADJAME et ATTECOUBE. Quant à la partie Nord qui couvre la commune d'ABOBO, les pentes avoisinent 6 % aux abords des versants des plans d'eau lagunaires. Dans l'ensemble, on remarque que les pentes augmentent avec la latitude du Sud vers le Nord. Dans la partie Sud notamment dans la commune de PORT BOUET, les pentes sont relativement faibles (0-2 %), ce qui explique le caractère plutôt adéquat du site à l'installation d'une décharge (figure 4).

Figure 4 : carte des pentes à Abidjan et ses environs

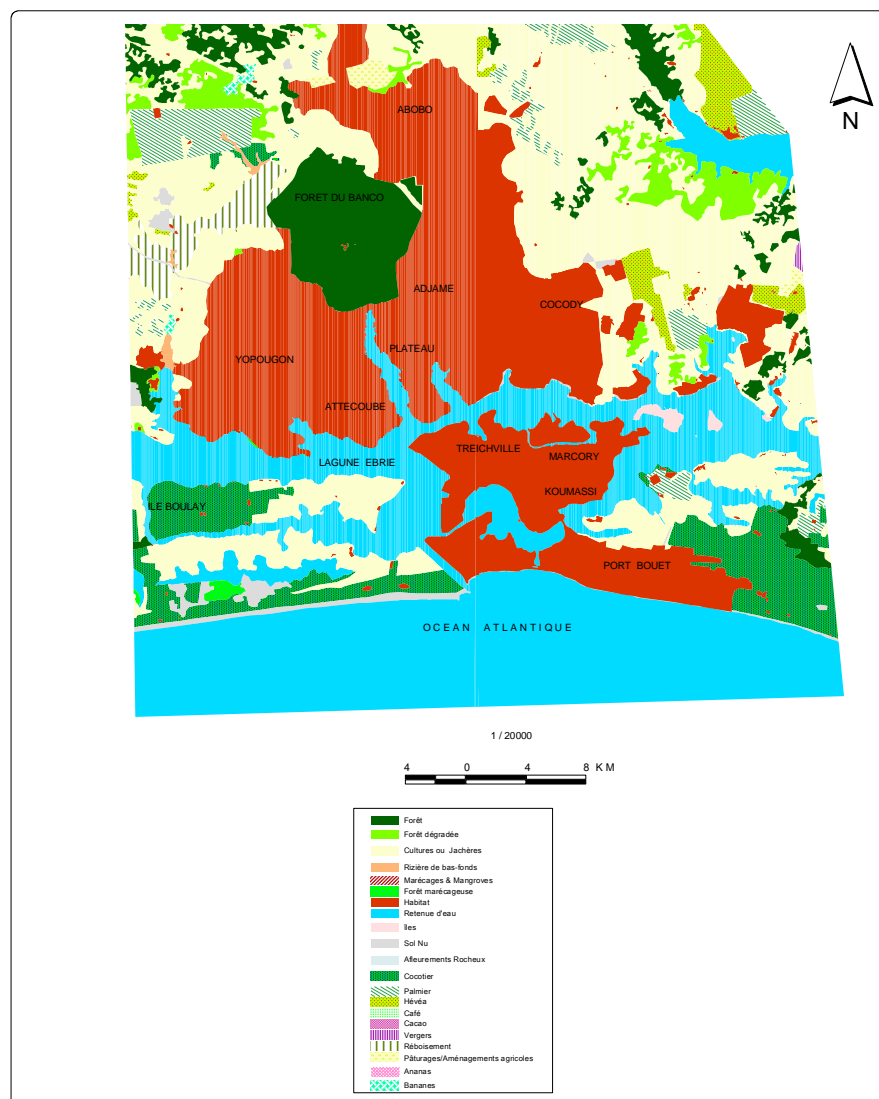


Source : bnetd/CCT

Au niveau de l'occupation du sol, Abidjan reste dominée par la présence des plans d'eau lagunaire et maritime. Ces plans d'eau subdivisent la ville en plusieurs secteurs que sont le cordon littoral, l'île de PETIT BASSAM, les plateaux du Centre, de l'ouest, et du Nord. Le

cordons littoraux sont occupés par la commune de PORT BOUET qui comprend la principale façade maritime avec les activités portuaires. L'île de PETIT BASSAM est occupée par les communes de TREICHVILLE, MARCORY et KOUMASSI. Le plateau central est occupé par le quartier administratif du PLATEAU. Le plateau de l'Est est occupé par le quartier résidentiel de COCODY. Celui de l'Ouest est occupé par le quartier évolutif de YOPOUGON. Et, enfin le plateau du Nord est occupé par l'une des plus grandes communes d'Abidjan en l'occurrence la commune d'ABOBO. Les environs d'Abidjan restent marqués par la présence de plantations industrielles comme le cocotier, l'hévéa et le binôme café-cacao. Aux abords du site retenu à la périphérie de PORT BOUET au Sud-est, on remarque des plantations de cocotiers dont la présence ne saurait constituer un handicap pour l'installation de la décharge (figure 5).

Figure 5 : carte d'occupation du sol à Abidjan et ses environs



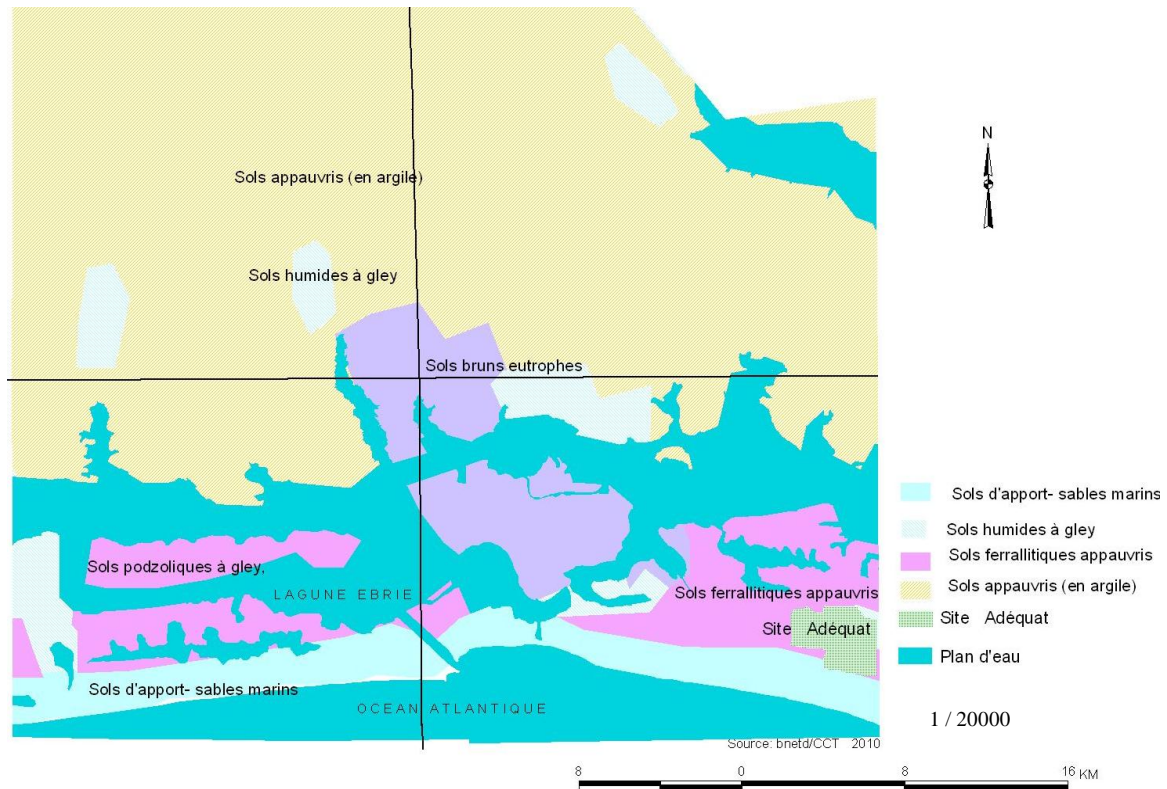
Source : bnetd/CCT

Au niveau pédologique, Abidjan est marquée par la présence de sols sableux, ferrallitiques et

humides. Cette humidité se justifie par la présence des plans d'eau lagunaire, maritime et la faible profondeur de la nappe phréatique (BIEMI J., 2006). La présence sableuse s'explique par la présence du bassin sédimentaire qui contient des quantités de sable le long de la côte Atlantique.

Au niveau du site retenu pour l'emplacement de la décharge, le sol ferrallitique en place semble adapté pour accueillir l'ouvrage (Figure 6).

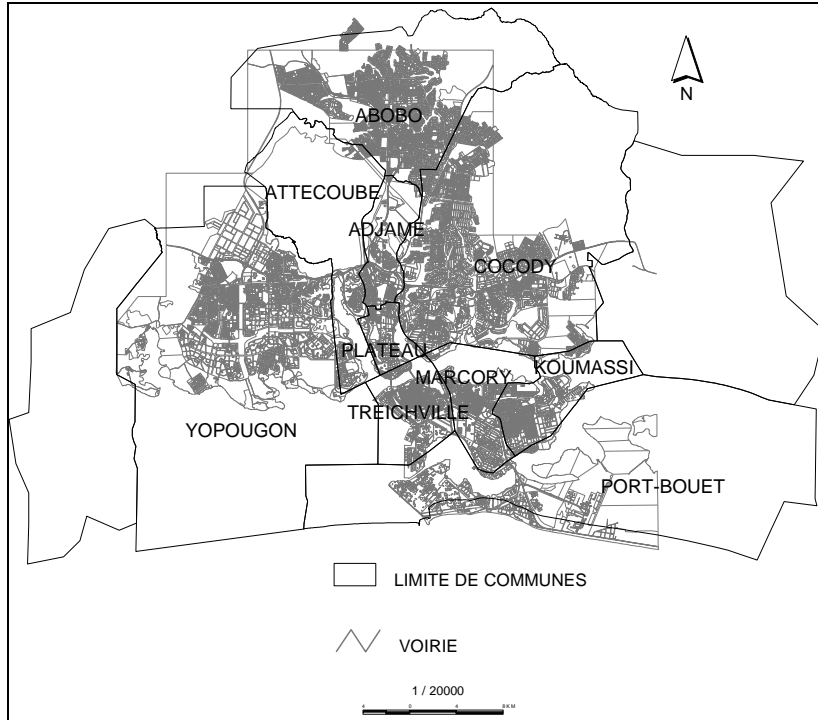
Figure 6 : carte pédologique d'Abidjan et ses environs



Source : bnetd/CCT

La voirie à Abidjan constitue un réseau assez dense. Presque la totalité des communes sont desservies. Ce réseau se densifie plus au niveau des quartiers centraux que dans les quartiers de la périphérie. Les quartiers du PLATEAU, ADJAME, TREICHVILLE, KOUMASSI, MARCORY et COCODY sont les plus desservis au plan routier. Au niveau des quartiers périphériques, PORT BOUET semble peu desservi. En effet, à PORT BOUET, l'ensemble des voies semblent converger vers l'unique voie principale qui passe à proximité du site retenu. Sur la Figure 7 ci-dessous, toutes les voies ont été matérialisées avec les mêmes épaisseurs pour éviter une surcharge sémiologique surtout qu'ici, nous sommes en milieu urbain dense.

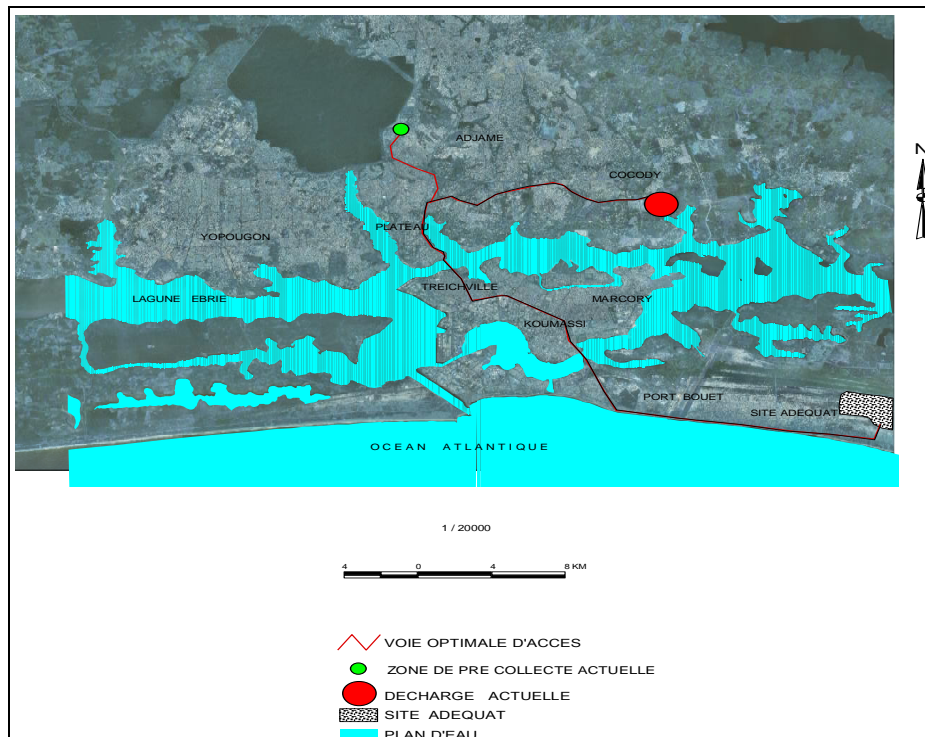
Figure 7 : carte de la voirie d'Abidjan et ses environs



Source : bnetd/CCT

La Figure 8 du site retenu est une spatio-carte. Sur celle-ci, on remarque en fond l'image satellitaire. Cette approche a été choisie afin de rester proche de la réalité. Seuls les plans d'eau et la voirie optimale d'accès au site retenu ont été modélisés. Ce qui a permis d'isoler un site adéquat d'implantation d'une décharge publique d'ordures ménagères (figure 8).

Figure 8 : Site adéquat à l'implantation d'une décharge dans le district d'Abidjan



5. Interprétation et Discussion des Résultats

D'entrée de jeu, à la suite de KROU D. K., et al. (2008), MATIKI A. K., (2008) ainsi que NYASSOGBO K., (2005) nous pouvons affirmer que les SIG constituent aujourd'hui un outil puissant d'aide à la décision. En outre, les SIG permettent d'extraire certains paramètres environnementaux des images satellitaires. L'analyse holistique, synoptique et systémique des relations spatio-environnementales dans les SIG permet la mise à disposition des résultats comme les cartes de synthèse (Figure 8). Outils de communication, les SIG peuvent alors être employés de manière opérationnelle pour la gestion de l'environnement. A l'échelle du district d'Abidjan, l'utilisation de la carte topographique a permis d'éditer la carte des pentes (Figure 4). La topographie selon (CHORFA B., 2002), et (Agence Nationale DE L'Environnement, 2005) constitue un atout dans le choix des sites devant abriter une décharge d'ordures. Dans les normes, la pente en vigueur pour un dépotoir doit être inférieure à 5 %. Sur le site retenu, la pente est comprise entre 0 et 2 %, ce qui dans les normes est acceptable. En effet, ce site est situé sur la plaine côtière qui est le prolongement du continental terminal avec des altitudes proches du niveau moyen de la mer (BIEMI J., 2006). La démarche adoptée dans ce travail à la différence de ce qui a été faite par (CHORFA B., 2002) a consisté à l'utilisation concomitante d'une carte de base et de l'imagerie satellitaire.

Cette méthode a eu pour avantage d'extraire à partir de l'imagerie satellitaire les éléments de la planimétrie que sont les routes et l'habitat. Cette planimétrie a été utilisée pour modéliser l'occupation du sol à Abidjan et ses environs (figure 5). Au niveau de l'occupation du sol (figure 5), et des types de sol (figure 6), leurs prises en compte nous ont permis d'éviter les terres d'agricultures pérennes. Le site retenu répond également à cette préoccupation. C'est un site occupé en partie par quelques résidus de cocotiers et de cultures maraîchères par endroits dont le déguerpissement a priori semble moins coûteux. Ici, le sol est de nature imperméable, un peu argileux et peu sableux (sol ferrallitique appauvri). En plus, cette zone est à une distance raisonnable du plan d'eau lagunaire, d'une part, et, de la façade maritime, d'autre part.

A la suite de CHORFA B., (2002) et ADJIRI M., (2010), nous estimons que le site retenu est idéal car il est placé en aval de la nappe phréatique d'Abidjan. En outre, ce site est situé à environ 5 kilomètres des plans d'eau, ce qui au regard des normes en vigueur paraît acceptable. En effet, les normes environnementales exigent une distance minimale comprise entre 5 et 10 kilomètres (CHORFA B., 2002) (ATTA K., 2005). Au niveau de l'accès, la voie optimale est une route internationale à grande circulation qui comporte deux axes de part et d'autre. Cette voie est idéale en raison du trafic en place. Elle peut être réservée pour les gros engins notamment les véhicules de ramassage d'ordures (GOURENE G., 2009). Cette exigence est prise en compte car la carte de la voirie d'Abidjan et ses environs montre bien l'accessibilité au site retenu (figure 7). Au regard de l'orientation des vents à Abidjan qui est Sud et Sud-ouest, cette voie de direction Nord et Sud-Est paraît idéale pour le transport des ordures sans nuisances aux populations. En effet, la prise en compte de la direction des vents dominants est primordiale. Cette direction des vents produit une perturbation de

l'environnement immédiat le long du parcours jusqu'à la décharge (ordures nauséabondes, prolifération des microbes, vermines et rongeurs), et peut s'étendre sur plusieurs kilomètres selon l'intensité et la force des vents dominants (SEKKAT Z., 2000). Cette connaissance a encore pour avantage de protéger les populations contre les odeurs et les biogaz des déchets (CHORFA B., 2002). Tout ceci permet de dire qu'un meilleur choix du site d'une décharge nécessite la prise en compte de tous les critères retenus. Or, les SIG constituent un outil puissant pour les analyses multicritères. Dès lors, la méthodologie que nous avons utilisée semble adaptée à ce genre d'étude. Le croisement de tous les paramètres hydrologique, pédologique, orographique, éolien et paysager ont permis d'obtenir la carte finale du site adéquat à l'installation d'une décharge publique (figure 8). La carte finale du site est une spatio-carte (avec en fond une image satellitaire Quickbird récente de la zone d'étude). En effet, les spécifications techniques de cette image indiquent une résolution de 0,61 mètres au nadir. Cette image qui date de 2008 couvre entièrement la zone d'étude. Le mode panchromatique a été choisi car il permet de mettre mieux en relief la planimétrie surtout qu'il s'agit du milieu urbain dense. De plus, la spatio-carte est proche de la réalité du terrain. Elle permet une prise de décision rapide (Centre de Cartographie et de Télédétection, 2005).

Notre approche du problème n'est certes pas non plus sans présenter quelques inconvénients. Ainsi, un des sujets de discussion possible de la méthodologie utilisée concerne les données traitées. En effet la carte topographique utilisée date de 2001, l'image date de 2008, les données de la direction des vents dominants de 1997 à 2007, les pluviométries annuelles de 2008 et les données des tonnages d'ordures de 2010. Il serait par exemple plus intéressant que toutes ces données datent de la même période pour avoir un résultat temporel uniforme. Toutefois, cela n'altère pas trop la pertinence des résultats en ce sens que ce sont les paramètres environnementaux qui sont pris en compte. Or ceux-ci varient très peu dans le temps (KROU D. K., et al. 2008). Au niveau même de la dynamique spatio-temporelle, les données issues de la cartothèque nationale observent une périodicité de quatre années pour les mises à jour (Centre de Cartographie et de Télédétection, 2005).

Quant à la superficie totale du site retenu, elle est estimée à 11 548,25 hectares. Or, selon les normes environnementales, la superficie réservée pour les déchets ménagers produits par un habitant et par an est de 1 m² (Agence Nationale de l'Environnement, 2005). Afin d'éviter les saturations, comme c'est le cas de la décharge d'Akouédo (200 m²), une durée d'activité maximale doit être fixée à 40 ans (ADJIRI M., 2010). De ce qui précède, la superficie en m² (S) d'un dépôt d'ordures pour une agglomération de population (P) avec un taux de croissance (T) pour une durée de 40 ans est de :

$$S = P(1+T)^{40} \text{ (CHORFA B., 2002).}$$

La production journalière moyenne d'ordures ménagères de la capitale économique est estimée à 3500 tonnes, soit 0,8kg/ par habitant par jour avec un taux de croissance de la population de 5,2 %. À Abidjan, les déchets sont composés essentiellement de matières en particules (40 %) et de matières fines (30 %) (MINEFI A., 2008).

Pour les 40 années, la quantité journalière d'ordures sera de $Q = P_{40} * 0,8 * 365$ et la population dans la même proportion sera de :

$P_{40} = P (1+T)^{40}$ soit $P_{40} = 5\,878\,609 (1+5,2\%)^{40}$ ce qui équivaut à 44. 677 428,4 habitants en 2050. La quantité journalière à cette date sera de :

$Q = 44\,677\,428,4 * 0,8 * 365 = 13\,045\,809$ tonnes. Or, la superficie réservée pour la quantité des déchets par habitant est de 1 m^2 . Dans cette proportion, pour les 40 années (entre 2010 et 2050) la superficie à réservée doit être de 44.677 428,4 m^2 ou 4. 467,7 hectares. Donc la superficie de 11 548,25 hectares (sur 4 467,7 requis) du site adéquat sur la spatio-carte est de loin acceptable pour éviter tout débordement ou engorgement comme c'est le cas actuel de la décharge d'Akouédo (ADJIRI M., 2010).

Conclusion générale

A l'échelle du district d'Abidjan, sur environ 929.887,43 tonnes d'ordures ménagères produites, seulement 46% sont ramassées. Ceci montre la question épineuse de la gestion des ordures ménagères à Abidjan. (NYASSOGBO K., 2005). Au terme de cette analyse, nous pouvons retenir que les données et la méthode choisies ont permis d'aboutir à un résultat intéressant. En effet, à travers une analyse holistique par des fonctionnalités du SIG, des couches vectorielles ont été superposées et croisées pour obtenir le site correspondant. Le site retenu obéit en partie aux exigences environnementales. Il est situé en aval de la nappe phréatique, à une distance raisonnable des plans d'eau lagunaires et maritimes. De plus, la superficie projetée, la pédologie en place, la topographie du milieu et la couverture du sol semblent favorables à une installation d'ordures ménagères.

Références bibliographiques

- AFFIAN K. (2003) : Approche Environnementale d'un Ecosystème Lagunaire Micro tidal, (la Lagune Ébrié en Côte d'Ivoire) par des études géochimiques, bathymétriques et hydrologiques : Contribution du SIG et de la Télédétection. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Nat- Abidjan, 216 p.
- ADJIRI M. (2010) : Caractérisation chimique des sédiments d'ordures dans la décharge publique d'Akouédo. Thèse de doctorat d'Université de Cocody, Juillet, 180 p.
- Agence Nationale l'Environnement (2010) : Rapport d'activités trimestriel. Abidjan, mars, 26p.
- AOUTI M., (2003) : Identification des Risques Naturels en Milieu Urbain à partir des Modèles Numériques de Terrain : Cas d'Abidjan . Mars, IGT, Abidjan, 137p.
- ASSAKO R. J. (2004) : Télédétection et géorisques. In : *Colloque sur les Enjeux et opportunités de la Géographie pour un développement durable en Afrique*, 22 au 26 novembre, Université de Ngaoundéré, Cameroun. 17p.
- ATTA K. (2005) : Elaboration, Suivi et Evaluation de Projets de Développement. In : *Note de cours DEA*, IGT, Abidjan, Février 32p.
- BAKOU N. (2008) : Les problèmes de la salubrité à Abidjan. In : *le nouveau navire*, Abidjan, Mars, pp8-9
- BIEMI J. (2006) : Géologie de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. In : *Fascicule de Cours*, UFR STRM, Université de Cocody, Abidjan, 124 p.
- BRUZON V. (2006) : Profil environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final, août, Abidjan, 132P p.
- Centre de Cartographie et de Télédétection, (2005) : Rapport d'activités annuelles. Abidjan, 144p.

- CHORFA B., (2002) : Projet SIG : le choix adéquat d'un dépotoir, application sur la commune de Ain el Ouada (Maroc). In : *CRASTE LF*, juillet, Rabat, 20 p.
- CHOROWIZC J., (1989) : Utilisation des MNT pour la reconnaissance automatique de certaines formes en géologie et géomorphologie. Bulletin, SFPT n°115 (1989-3); In : *Communication Colloque d'Orléan*, Janvier, 25 p.
- DENEGRE J., (2000) : Les Systèmes d'Informations Géographiques. Collection : In : *Que sais-je ?* N° 3122 Ed. PUF, Paris 128 p.
- DIABAGATE S. (2008) : Problèmes d'assainissement dans la commune d'Adjamé : la gestion des ordures ménagères, IGT, Abidjan, 135 p.
- GOURENE G., (2009) : Déterminants de la gestion des ordures ménagères dans deux communes du district d'Abidjan : Adjamé et Anyama : In : *Communication pour le séminaire sur la gestion des déchets*, Ouagadougou, Novembre, 26 p.
- INTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (2011) : Projet d'atlas de population ivoirienne, INS, Abidjan, 90 p.
- JOURDA P., (2002) : Initiation Arcview 3.2 et application aux SIG. Abidjan- UNESCO, 15 p.
- KROU D. K., AFFIAN K., KOUAKOU E., N., DJAGOUA E., V., et ABAKA B., H., M., (2008) : La Télédétection et les SIG Comme Moyen de Hiérarchisation des Localités dans Une Région Endémique de Bilharziose: Cas de la Région de L'agneby (Sud-Est de la Cote D'ivoire). In: *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.22 No.1 pp.66-83.
- LE REPERE (2008) : Les problèmes de la salubrité à Abidjan : l'Anasur ploie sous le poids des ordures. Abidjan, Septembre, pp 4-7
- MATIKI A. K. (2008) : Le principe de prévention et l'étude d'impact sur l'environnement dans le projet d'exploitation minière en R. D. Congo. Mémoire Master 2 Université de Limoges, aout, 63 p.
- MINEFI A. (2008) : La gestion des déchets en Côte d'Ivoire. Fiche de synthèse, DREE, Abidjan, Juin, 7 p.
- N'GO A. (2001) : Étude de l'érosion des sols de la région de Buyo (Côte d'Ivoire). Thèse doctorat 3^e cycle, UAA, 197 p.
- NOUZAM. (2010) : Le Journal de l'économie. février, Abidjan, Pp 5-6
- NYASSOGBO K. (2005) : Accumulation des ordures ménagères et dégradation de l'environnement urbain. Quelques pistes pour une viabilité environnementale dans le processus de développement africain. Lomé (Togo), 19 p.
- SEKKAT Z., (2000) : Gestion des ordures ménagères: Amer constat. In : *CPR, Publications*, Rabat (Maroc), Novembre, pp 1-3
- VEI K. N., (2009) : Apport du SIG dans la recherche des zones inondables dans la commune d'Abobo (Abidjan-Côte d'Ivoire). In : *Annales de l'Université de Lomé*, Togo, Série PUL, pp 55-61.
- VEI K. N., (2009) : Cartographie du potentiel de l'espace pouvant être bâti dans la commune de Yopougon (Abidjan, Côte d'Ivoire). In : *Ahoho Revue de Géographie du LARDYMES*, Université de Lomé, pp 218-227

VEI K. N., (2009) : Impact socio-environnemental de l'exploitation des carrières de sable à Abidjan et ses environs (Côte d'Ivoire). In Repères, In : *Revue scientifique de l'Université de Bouaké*, pp 31-43.

ZAIRI M., (2005) : Utilisation des SIG pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale des aquifères phréatiques : Cas de la nappe de Sfax-Agareb (Sud-est tunisien), In : *édition, LR3E*, Tunis, 15 p.