

Contribution d'un Système d'Information Géographique (SIG) à une meilleure gestion des investissements publics au Bénin

AZEHOUN PAZOU Géraud

Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Laboratoire d'Electrotechnique de Télécommunication et
d'Informatique Appliquée (LETIA),
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Benin
geraupaz@yahoo.fr

ADEDJOUA A. Sèmiyou

Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Laboratoire d'Electrotechnique de Télécommunication et
d'Informatique Appliquée (LETIA),
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Benin
Semiyou.adedjouma@yahoo.fr

1. RÉSUMÉ

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) apparaissent de nos jours comme des outils de gestion, de planification, d'aide à la décision et de suivi des politiques. Dans la mise en œuvre de sa politique de développement économique et social, le Gouvernement du Bénin se heurte à un manque d'informations à caractère économique renseignées à des échelles régionales. Le besoin d'un outil qui lui permettra d'avoir une vue des potentialités des régions de notre pays en termes économiques et de mieux appréhender les disparités spatiales qui existent entre elles, pour aboutir à des propositions de politiques plus justes et équitables, a donc été exprimé. Afin de contribuer à la résolution de cette problématique, le présent projet a été élaboré et a consisté à la conception d'un SIG. L'étude effectuée a permis d'identifier et choisir les divers outils nécessaires à la mise en place du système pour aboutir au développement d'une application pilote.

Mots Clés : SIG, Application web, Analyse économie, Mapserver, Réseau

2. INTRODUCTION

Dans toute société humaine, l'information joue un rôle important dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques. (Bassolé, Brunner et Tunstall, 2001) attestent cette assertion lorsqu'ils disent que l'accès à une information opportune et précise est indispensable à la logique décisionnelle. Depuis une vingtaine d'années, le Système d'Information Géographique (SIG) constitue un domaine des technologies de l'information et de la communication de plus en plus utilisé par le pouvoir public dans le processus décisionnel, notamment en matière de planification et de gestion (Bassolé et al., 2001).

Le bilan d'une décennie d'ajustement structurel au Bénin a révélé que malgré les progrès accomplis en termes de rétablissement des grands équilibres macro-économiques et de croissance économique, le phénomène de la pauvreté persiste. Pour y faire face, le Gouvernement a adopté une Stratégie de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté (SCR) visant à renforcer la coordination des actions des acteurs nationaux ainsi que des partenaires au développement. Le gouvernement du Bénin s'est dès lors engagé dans une politique d'investissements publics dans les zones les plus défavorisées du pays. Les partenaires techniques et financiers accompagnent également cette stratégie à travers des financements de projets, des prêts ou des investissements directs dans plusieurs régions de notre pays. Mais il importe que la mise en œuvre de cette politique intègre non seulement une utilisation rationnelle (durable) des ressources de l'espace territoire, mais également une meilleure affectation des ressources financières devenues rares, pour la réalisation d'infrastructures indispensables pour la satisfaction des besoins des populations où qu'elles se trouvent.

Pour mener à bien cette politique, l'introduction d'outils SIG pourrait s'avérer d'un apport considérable. Et c'est dans cette optique que nous nous sommes fixé comme objectif de concevoir et réaliser un SIG qui centralisera des données socio-économiques relatives aux régions du pays et servira d'outil d'analyse et d'aide à la décision de par les nombreux traitements et usages auxquels il pourrait se prêter.

3. REVUE DE LITTÉRATURE

a. Evolution des SIG

Grâce aux progrès de l'informatique et des technologies spatiales, les SIG ont pu se développer ces dernières décennies (Ould Ahmed Bamba et al., 2005). La première application souvent citée de l'analyse spatiale en épidémiologie est l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854. En effet, ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il détermina que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination (Marsden, 2009). La quantité de données géographiques dès lors acquises, ainsi que les interprétations géologiques réalisées et publiées par les chercheurs, ont conduit à une réflexion pour un regroupement et une coordination des travaux (Ould Ahmed Bamba et al., 2005). Lesdits travaux ont abouti à la création du domaine des SIG.

En Europe et en Amérique les SIG se sont vite développés et constituent un domaine très prisé. En Afrique, leur évolution a été marquée par la création de AFRICAGIS, qui est la plus importante conférence - exposition dédiée à la technologie géomatique et ses applications en Afrique (Ould Ahmed Bamba et al., 2005). Cependant, dans beaucoup de pays d'Afrique de l'Ouest, l'utilisation des SIG n'en est qu'à ses débuts, et les décideurs connaissent encore relativement mal les avantages de ces systèmes (Bassolé et al., 2001). Les SIG sont en effet, principalement utilisés pour élaborer des cartes numériques et, rarement comme outil analytique d'aide à la prise de décision ou d'analyse de scénarios s'appuyant sur la simulation des effets du changement de la valeur de variables clés.

b. Les SIG et les analyses économiques

Utilisés dans de nombreux domaines pour créer, entreposer, analyser et afficher des données à référence géographique, les SIG ont connu ces dernières années, une expansion rapide et couvrent des domaines tels que le tourisme, la planification urbaine, la protection civile, le transport, le marketing, etc. Dans le domaine de l'analyse des données, ils se prêtent bien de nos jours, aux analyses de la distribution de la population, de la richesse et du revenu. Ils permettent également l'élaboration des cartographies sanitaires, scolaires, et de pauvreté ainsi que celles des indicateurs socio-économiques.

En effet, l'analyse par le biais des SIG est un outil informatique qui exploite les données spatiales d'une base de données et présente les résultats sous forme cartographique. Il permet de superposer des couches d'informations géographiques (en donnant l'emplacement exact d'un élément sur une carte) et des données économiques cartographiées (par exemple sur l'activité économique ou l'emploi) et fournit ainsi un puissant outil d'analyse spatiale de l'économie. Les SIG permettent notamment, grâce à des représentations spatiales des indicateurs de pauvreté, d'identifier l'endroit «où se trouvent les pauvres», d'analyser et expliquer les relations entre les facteurs sous-jacents à la pauvreté ainsi que de comprendre «pourquoi les gens sont pauvres» (Sanga et Dosso, 2007). Cette représentation spatiale connue sous le nom de carte de pauvreté est essentielle dans l'identification minutieuse des incidences de pauvreté et peut jouer un rôle important dans l'orientation des dépenses publiques destinées à réduire la pauvreté (Sanga et Dosso, 2007).

c. Les logiciels SIG

Il existe une panoplie de logiciels SIG dans le monde. Le tout premier système reconnu comme SIG est *Canada Geography Information System*, élaboré en 1964. Depuis, de nombreux SIG ont été développés ; ARC INFO, ARC VIEW et MAP INFO étant parmi les plus utilisés (Ould Ahmed Bamba et al., 2005). Ces logiciels, propriétaires pour la plupart, sont utilisés aussi bien pour l'édition et la visualisation de cartes que pour des analyses spatiales. Ils offrent cependant peu de possibilités de personnalisation ou de développement et les utilisateurs sont pour la plupart les géographes, les cartographes, les agronomes, les environnementalistes et autres professionnels de l'aménagement et de la gestion du territoire. Au nombre de ces logiciels, nous pouvons citer (Sorel, 2007):

- ESRI qui est le fournisseur du logiciel SIG propriétaire le plus complet : ArcGIS et ses dérivés : ArcIMS, ArcSDE, ArcView, etc.
- MapInfo qui est le logiciel SIG le plus répandu et le plus utilisé. Simple et globalement limité, c'est le logiciel utilisé pour apprendre les rudiments des SIG. On peut réaliser des logiciels métier en personnalisant son interface grâce à un langage propre à MapInfo.
- Grass est le plus ancien et le plus complet logiciel SIG libre qui existe. A l'origine, il était un logiciel d'imagerie. Il pourrait remplacer les logiciels payants hormis son interface déplorable, son installation fastidieuse, et sa prise en main assez complexe. Certaines initiatives comme QGIS ou Jgrass essaient de corriger ces imperfections, mais Grass demeure très puissant et possède des fonctions d'analyses poussées.

d. Les solutions de webmapping

La cartographie en ligne est un domaine en pleine expansion. Elle répond à de réels besoins de diffusion rapide de l'information et de mise à jour à distance des données. Actuellement il existe une multitude de solutions de Webmapping. Nous pouvons citer (Sorel, 2007) :

- Google Maps, développé par Google, qui est un service gratuit de carte géographique et de plan en ligne. Le service a été créé par Google. Il s'agit d'une forme de géoportail. Google Maps est une solution différente, on n'utilise pas vraiment ses propres données, on utilise un fond de plan riche sur lequel on vient placer les données cartographiques. Simple de mise en œuvre, il apporte tout de même beaucoup d'arguments mais pas vraiment pour un usage professionnel. La particularité de ce service est qu'il permet, à partir de l'échelle d'un pays, de pouvoir zoomer jusqu'à l'échelle d'une rue. Deux types de plan sont disponibles : un plan classique, avec nom des rues, quartier, villes et un plan en image satellite, qui couvre aujourd'hui le monde entier.
- ESRI propose également des serveurs de données internet, un moteur complet qui supporte de nombreux langages pour le développement d'applications métier. Dans un environnement d'entreprise, les logiciels SIG peuvent être centralisés sur des serveurs d'applications et des serveurs web ; les utilisateurs y accèdent par l'intermédiaire de navigateurs, d'applications spécialisées, de matériels nomades, d'appareils numériques etc.
- GeoServer, développé par le consortium OpenGéo, GeoSolutions et Refrations Research, il est écrit en Java et sous Licence GPL. C'est un outil de représentation cartographique de type Serveur qui fonctionne au sein d'un système d'information géographique. Il dispose d'une vitesse d'affichage correcte mais d'une finesse d'image supérieure. Son interface est soignée et conviviale.
- Mapbuilder, solution Open Source développée par la communauté, il s'appuie sur les moteurs Google Maps ou Yahoo Maps. Il s'agit d'un générateur de cartes, on installe l'application qui au final donne une carte html/JavaScript prête à être intégrée dans votre site. Il a été développé utilise la technologie AJAX¹.

e. La nouvelle ère des SIG : les WebSIG

¹ **Ajax** (acronyme d'*Asynchronous Javascript and XML*) : technologie web qui permet de construire des applications Web et des sites web dynamiques interactifs sur le poste client.

Avec l'évolution du nombre d'utilisateurs de SIG et la diversification des domaines d'application, l'ingénierie des systèmes d'information doit faire face aujourd'hui aux besoins sans cesse croissants de personnalisation des SIG (Pornon, Yalamas et Pelegris, 2008). Il est donc devenu courant de se baser sur les solutions existant en matière de conception et de réalisation de SIG et d'en dégager des architectures fonctionnelles afin de répondre aux exigences des utilisateurs. C'est ainsi que :

- (El Yacoubi et al., 2006) ont mis en place un SIG pour la gestion des systèmes d'irrigation sous pression au Maroc ;
- (Abeda, 2007) a réalisé un SIG pour l'enseignement supérieur en Tunisie ;
- (Baldé, 2008) a conçu une plateforme de cartographie dynamique au Sénégal ;
- (Bakary, 2009) a réalisé un SIG pour le suivi des investissements publics au Cameroun.

Le présent travail s'inscrit également dans la même logique mais l'architecture proposée ici et les diverses fonctionnalités développées, font-elles de l'outil réalisé un système différent des solutions SIG existantes.

4. METHODOLOGIE

a. Cadre théorique

L'atteinte des objectifs que nous nous sommes assignés a nécessité la mise en place d'un planning organisationnel tout au long du cycle de vie du système. La méthode de développement adoptée est le processus unifié 'UP' (*Unified Process*). Sa mise en œuvre s'est faite suivant les étapes ci-après :

- L'expression des besoins : il s'est agi ici d'identifier les besoins des utilisateurs et de les formaliser ;
- L'analyse : définition de l'architecture du système et de ses fonctionnalités ;
- La conception : elle a consisté à l'identification puis au choix des composants nécessaires à la mise en œuvre du système ;
- L'implémentation : elle a consisté au développement des différentes interfaces et l'implémentation des fonctionnalités retenues pour le système ;
- Les Tests et l'étude des conditions de déploiement du système : il s'est agi pour nous de faire des tests puis de définir les caractéristiques minimales du matériel requis ainsi que les différentes configurations logicielles à faire pour avoir un système fonctionnel ;

La figure 1 illustre les différents diagrammes UML (Unified Modeling Language) utilisés au cours du cycle de vie de l'application

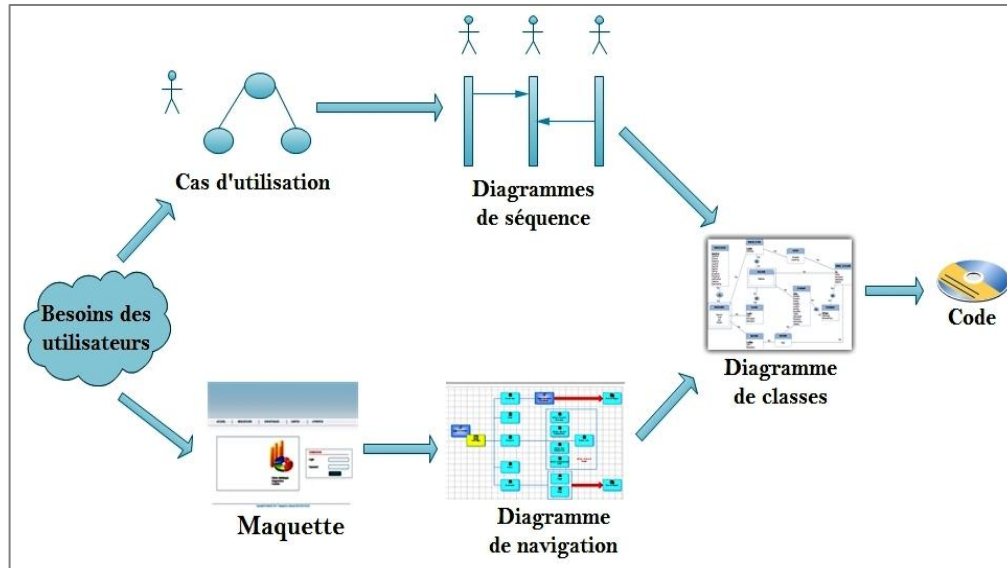


Figure 1: Schéma du processus de développement adopté

b. Méthodologie

Les SIG regroupent les cinq groupes de fonctionnalités suivantes dénommées « 5 A » : Abstraction, Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage. La mise en œuvre de ces fonctionnalités nous a permis d'identifier les outils et matériels requis. Leurs choix ont été orientés par les critères suivants : la performance, le coût, la portabilité et la prise en compte des concepts orientés objets.

L'abstraction : Elle a été réalisée en deux étapes : la modélisation et l'intellectualisation. Nous avons choisi UML (Version 2.0) comme langage de modélisation ; l'atelier de génie logiciel (AGL) étant Visual Paradigm (Version 8.0).

L'acquisition des données : Il a été question ici de procéder à la collecte des données qu'utilisera notre système. Il s'agit des données géographiques (coordonnées géographiques, délimitations géographiques des localités) et de quelques données sur les indicateurs retenus. Les informations relatives aux indicateurs ont été trouvées à la Délégation à l'Aménagement du territoire (DAT²). En ce qui concerne les données cartographiques, elles ont été obtenues au Centre National de Télédétection (CENATEL) du Bénin en format *shp* (*shapefile*).

L'archivage des données : L'archivage permet de stocker les données acquises afin de les retrouver facilement. Il faut donc utiliser un SGBDG (Système de Gestion de Bases de Données Géographique) pour faciliter le stockage, l'organisation et la gestion des données. Notre choix s'est porté sur PostgreSQL (version 8.4) qui est le projet de bases de données le plus abouti dans le domaine du logiciel libre et sa composante spatiale PostGIS (version 1.5).

L'analyse des données : Cette fonctionnalité, pour laquelle le serveur cartographique libre MapServer a été retenu, permet de formater les données géographiques afin qu'elles puissent répondre aux requêtes des utilisateurs. Développé par l'université du Minnesota dans le cadre du projet ForNet en coopération avec

² DAT : structure administrative dotée d'une compétence à caractère interministériel. Elle est chargée de préparer, d'impulser et de mettre en œuvre les décisions relatives à la politique d'aménagement et de développement du territoire, conduite par l'Etat.

la NASA et le département des ressources naturelles du Minnesota, MapServer un programme CGI³ qui s'exécute sur un serveur web et permet de générer des cartes. Son rôle consiste à piocher dans des bases de données et autres ressources afin de générer des images qui seront transmises à un client par l'intermédiaire d'un serveur web.

L'affichage des données : Elle rassemble l'ensemble des moyens à mettre en œuvre pour restituer les informations stockées. La technologie de développement retenue est Ajax en raison des nombreux avantages qu'elle offre.

c. Matériels

La solution retenue est un WebSIG ; son architecture fonctionnelle est représentée sur la figure 2.

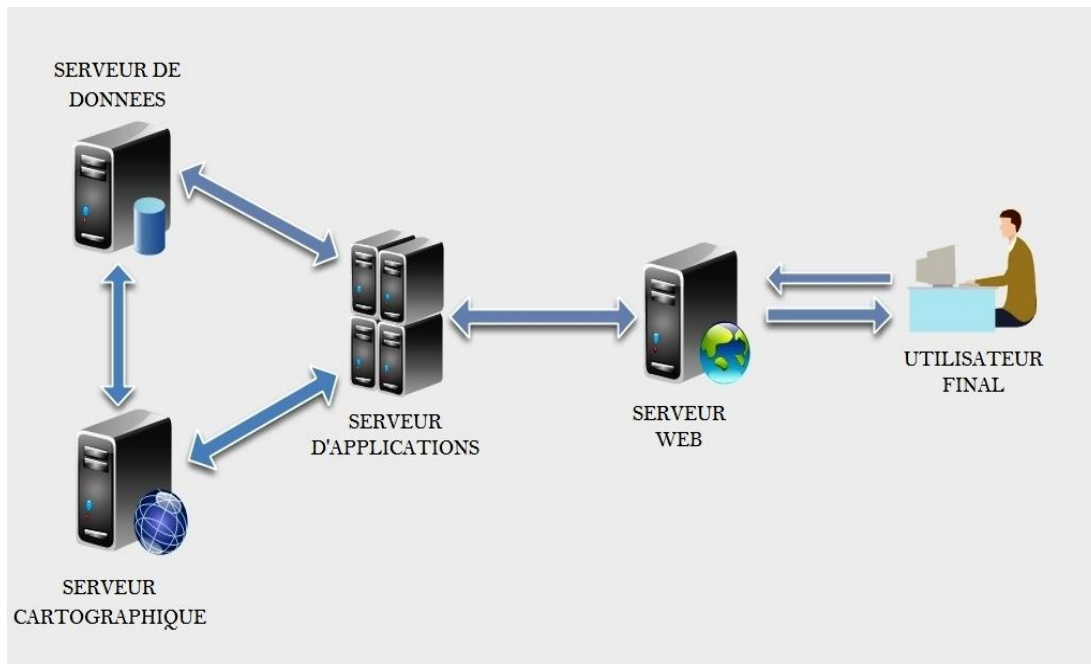


Figure 2 : Description du fonctionnement du système

Ainsi lorsque l'utilisateur effectuera des requêtes sur sa machine locale pour demander un résultat spécifique, le serveur cartographique interprètera cette requête et renverra la carte sous la forme d'une image matricielle (gif, jpeg, png, etc.) ou vectorielle (svg, shp, flash, etc.). Le serveur cartographique est géré par des langages de script qui lui permettent de charger dynamiquement une carte en réponse à la requête. Il sera installé sur un ordinateur serveur qui hébergera aussi le serveur de données.

Le SGBDG stockera aussi bien les informations attributaires qui décrivent l'espace, que les objets géographiques tels que les points, les lignes et les polygones. La consultation des données sera assurée par un serveur web qui permettra aux autres serveurs de restituer les informations à travers le réseau. Le lien entre les différents serveurs et l'utilisateur est assuré par le serveur d'applications qui centralise tous les scripts et fonctions à appeler pour l'exécution d'une requête.

³ CGI *Common Gateway Interface* littéralement « Interface passerelle commune » : standard industriel qui indique comment passer l'information du serveur HTTP au programme et comment en récupérer le contenu généré

5. RESULTATS

Le système conçu offre en effet un certain nombre de fonctionnalités cartographiques au nombre desquelles nous pouvons énumérer :

- L'établissement de cartographies rapides ;
- La localisation dans l'espace et dans le temps
- Le tri par la superposition de couches distinctes ;
- La lisibilité de l'affichage grâce notamment aux fonctions de Zoom et de Pan

Dans le but de tester lesdites fonctionnalités, des valeurs aléatoires d'indicateurs ont été entrées dans la base de données. Les cas d'utilisation « Visualiser statistiques et courbes » et « Visualiser cartes » ont été testés.

Les figures 3, 4 et 5 montrent quelques résultats liés au cas d'utilisation « Visualiser statistiques et courbes ».

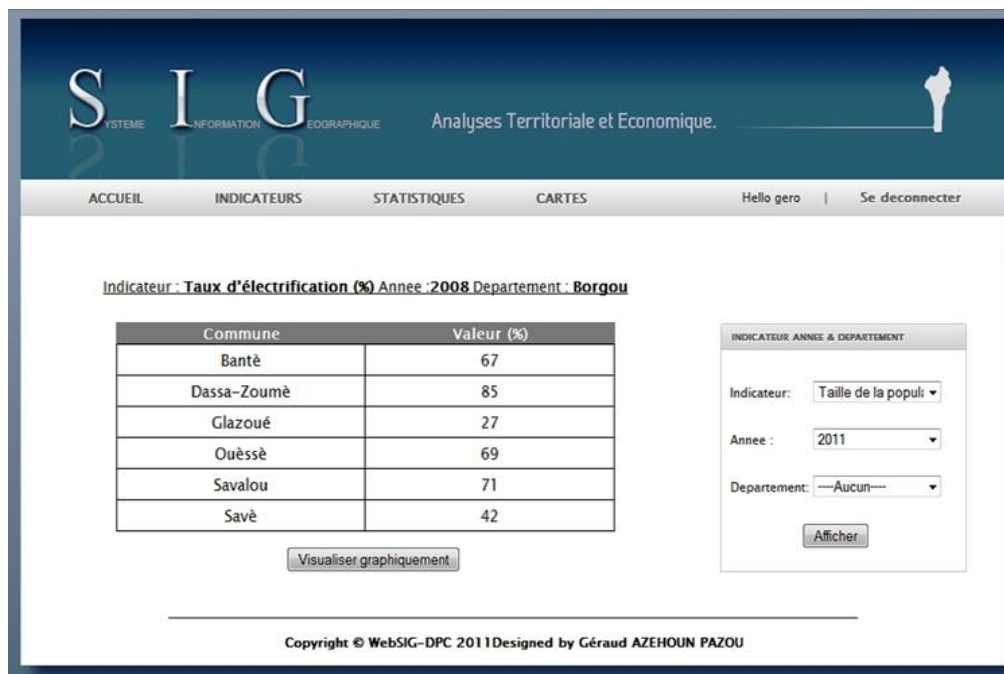


Figure 3 : Visualisation du tableau de statistiques régionales d'un département donné à une année donnée

A partir de la figure 3 ci-dessus, nous remarquons que dans le département des Collines, la commune de Dassa-Zoumè a le taux d'électrification le plus élevé tandis que celle de Glazoué présente le taux le moins élevé. A partir de ce résultat, le gouvernement sait dorénavant vers quelle commune où orienter ses prochains investissements en matière de plan d'électrification.

La figure 4 permet de faire la même analyse mais elle présente les résultats sous forme de graphique (camembert). Ce type de vue est souvent plus intéressant pour faire ressortir les disparités spatiales entre régions ; d'où son intérêt.

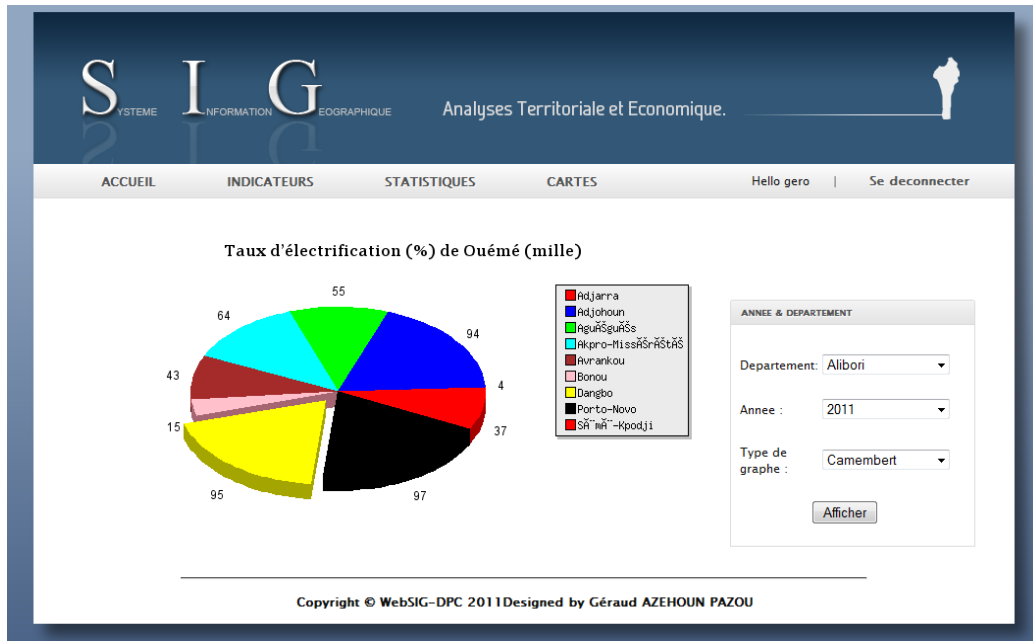


Figure 4 : Visualisation de statistiques régionales sous forme graphique

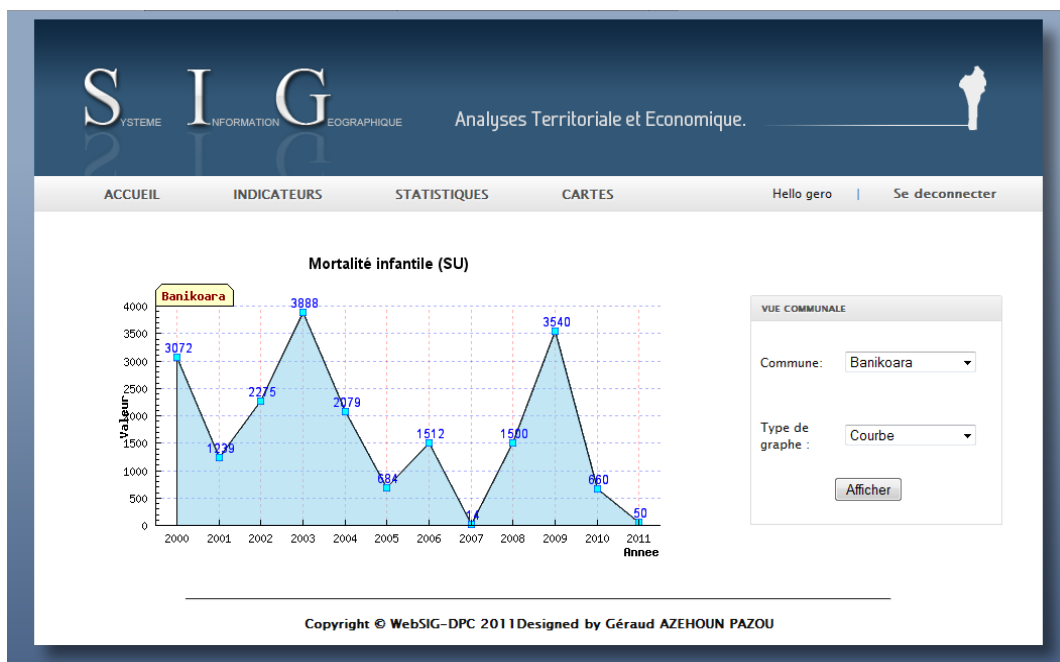


Figure 5 : Visualisation de la courbe d'évolution d'un indicateur

A partir de la figure 5 ci-dessus, on voit l'évolution du taux de mortalité infantile dans la commune de Bankoara. On remarque qu'entre 2005 et 2007, ce taux a nettement diminué par rapport aux années antérieures. Ceci serait la conséquence de mesures prises par le gouvernement. Le système permet donc de pouvoir apprécier l'impact des actions menées et de les améliorer si nécessaire.

Les figures 6, 7, 8 et 9 montrent quelques résultats liés au cas d'utilisation « Visualiser cartes ».

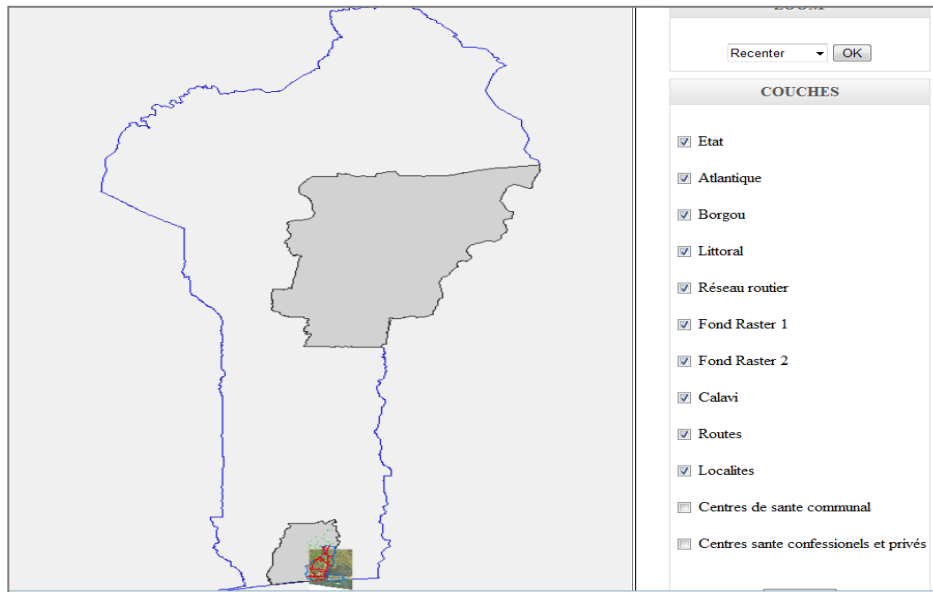


Figure 6 : Vue globale de la carte du Bénin avec possibilité d'ajout de couches de données

Un résultat intéressant dans l'aide à la prise de décision est la géolocalisation. En effet, la visualisation de données sur un fond de carte riche permet de mieux les apprécier par rapport à leur répartition dans l'espace, et partant d'être plus à même de prendre les décisions qui s'imposent.

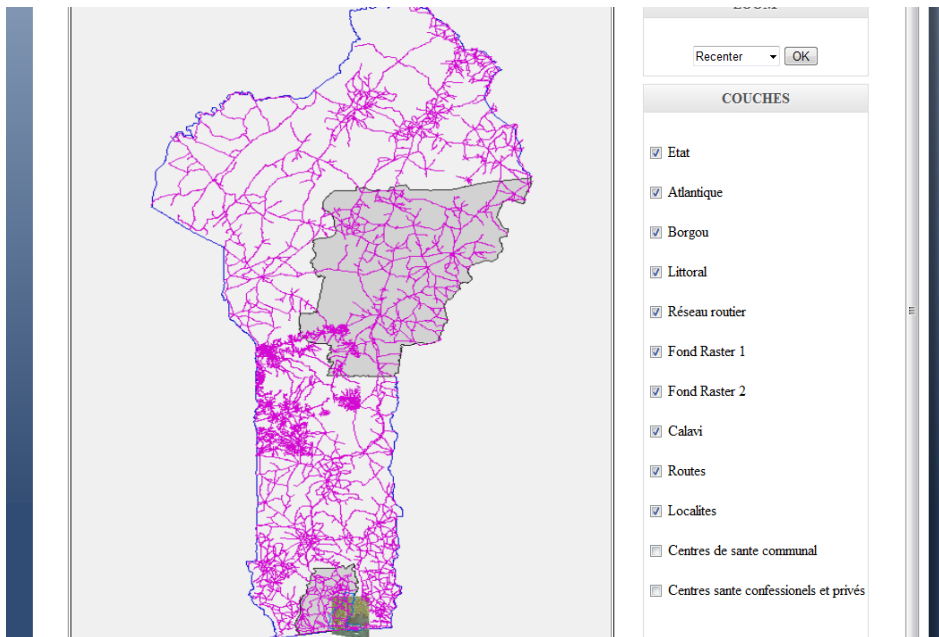


Figure 7 : Carte thématique - infrastructures routières

La figure 7 présente le réseau routier du Bénin, avec la carte administrative du Bénin comme fond de carte.

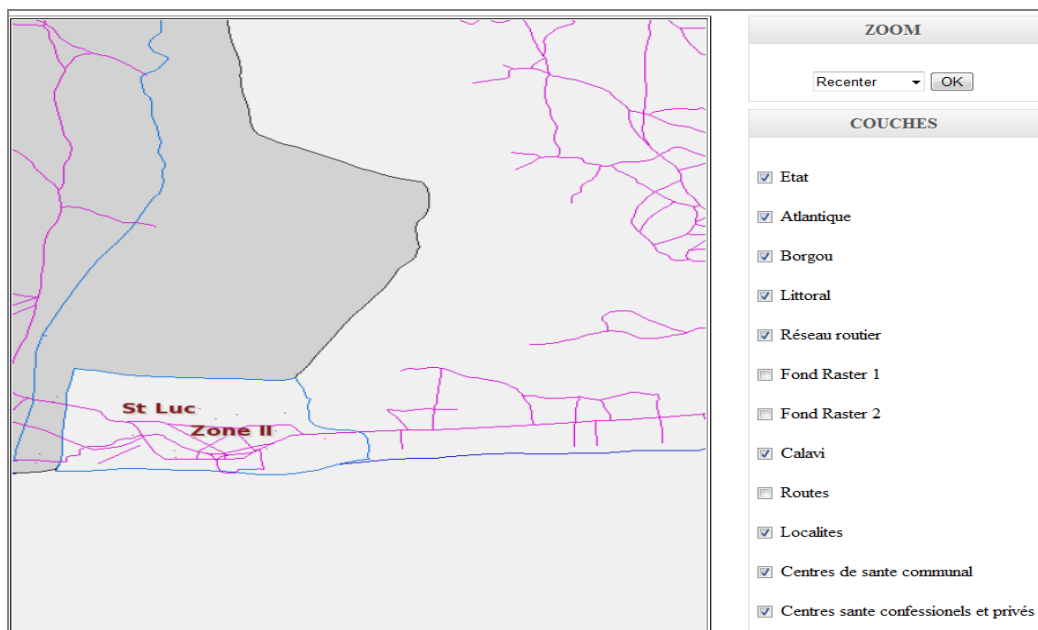


Figure 8 : Zoom sur le département de l'Atlantique permettant la visualisation de quelques centres de santé géolocalisés

La figure 8 présente le résultat du zoom fait sur le département de l'Atlantique avec comme couche thématique celle des centres de santé. Avec une telle vue, on peut voir si au sein d'un même département, il y a des populations mieux nanties que d'autres en matières d'accès à la santé. A partir de là, on peut décider des mesures à prendre pour régler cet état de chose.

6. DISCUSSION

a. Discussion sur les fonctionnalités développées

Le système développé apporte une amélioration notable en matière de gestion et de stockage des données. Les données cartographiques qu'exploitent la plupart des solutions SIG propriétaires (ArcGIS, ArcView, MapInfo, etc.) ne sont en effet pas organisées dans un SGBDG. Elles sont disponibles sous forme de fichiers (vectoriels ou rasters) sur le disque dur. Cette manière de faire pose non seulement un problème de sécurité, mais également de sauvegarde car en cas de calamités (incendie, détérioration de serveurs, etc.), une récupération des données serait inenvisageable. La solution apportée a consisté à rassembler, organiser et stocker toutes les données dans un SGBDG. Ainsi en cas de calamité, les politiques de sauvegardes mises en place pourraient permettre de récupérer toute ou partie des données.

Un autre atout important de l'outil réalisé est son architecture qui est du type client-serveur. En effet, les solutions du même type proposées par les sociétés comme ESRI nécessitent pour la plupart l'acquisition de licences aussi bien pour le serveur que pour les clients. Mais l'outil proposé ici est utilisable à partir d'un simple navigateur web et son utilisation est davantage facilitée par des interfaces simplifiées et conviviales. Les coûts de déploiement en sont ainsi minimisés. Quant aux fonctions réalisables grâce à l'interface, elles sont personnalisées au regard des différents usages auxquels il pourrait se prêter.

Le système présente cependant quelques insuffisances en matière de fonctionnalités. Les systèmes de cartographie en ligne actuels comme Google Maps offrent des outils comme les 'infos bulles', la possibilité d'ajouter des marqueurs ou des objets sur les cartes etc. La mise en œuvre de ces diverses fonctionnalités fera l'objet d'implémentations futures.

b. Discussion sur le choix des outils

Il importe de souligner qu'au niveau de la couche d'abstraction du système, le langage de modélisation choisi (UML) n'est pas le meilleur pour formaliser les données spatio-temporelles. D'autres comme MADS, utilisé par (Abeda, 2007) ou encore MECOGIS sont beaucoup plus spécifiques à la modélisation des SIG mais leur usage nécessite souvent le recours à d'autres méthodes pour formaliser les données attributaires. La méthode MERISE utilisée par (Ouedraogo, 2003) présente quant à elle des insuffisances liées notamment à la représentation des données géographiques. Mais grâce à ses concepts orientés objets, UML permet de prendre en compte les deux composantes de l'information géographique ce qui fait de lui un outil convenable pour la formalisation des données géographiques. Il a notamment été utilisé par (Baldé, 2008) et (Bakary, 2009).

Au niveau de la couche d'analyse, MapServer constitue un outil de plus en plus utilisé pour la conception d'architecture SIG de type client-serveur. Il est à noter que sa prise en main n'est guère aisée mais le fait que des sociétés comme Google et CamptoCamp l'aient adopté, a favorisé son développement rapide. Il est à noter que des solutions clientes basées sur Mapserver comme Cartoweb (utilisé par (Bakary, 2009)) ou Ka-Map existent et exemptent ainsi le développeur de la réalisation d'interfaces personnalisées. En ce qui concerne cette dernière couche (affichage), des technologies comme J2EE (Java Enterprise Edition) et .NET constituent des solutions mieux adaptées aux exigences des SIG. Mais en raison de la lourdeur du J2EE et du caractère mono-plateforme du .NET (ne fonctionnant que sur les serveurs Windows), PHP (Hypertext PreProcessor) et la technologie AJAX leur a été préférée.

7. CONCLUSION

La conception et la réalisation d'un SIG a fait l'objet de cette étude. Partant des besoins exprimés, nous avons procédé à la modélisation du système. Une plateforme pilote a ensuite été développée sur la base des divers choix techniques effectués. La justification desdits choix a induit l'élaboration de tests sur les fonctionnalités implémentées. Il en ressort que le système est fonctionnel et offre beaucoup de possibilités d'exploitation. Il a également l'avantage d'être flexible (possibilité d'installation sur la plupart des OS, accessibilité à partir de tous les navigateurs web), et prêt à de futures évolutions.

Le système permet de visualiser des cartes présentant des informations géographiques sur une interface Web d'une part, et de consulter les données attributaires associées, d'autre part. Le système permet par ailleurs de générer des états statistiques qui serviront à élaborer des analyses économiques. De ces différents résultats, des analyses peuvent être menées et conduire à une meilleure utilisation et répartition des ressources disponibles.

8. REFERENCES

- [1] Abeda, A. (2007) Réalisation d'un Système d'Informations Géographiques pour l'enseignement supérieur, *Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Télécommunications Option: Réseaux et Services Mobiles, Ecole Supérieure des Communications de Tunis (Tunisie)*, 128p.

- [2] Bakary, A. (2009) Conception et Mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique sur les Investissements publics pour Analyses et Inflexions au MINEPAT : Cas du département du Nyong et So'o dans la Région du Centre, *Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de Conception en Informatique, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique du Cameroun*, 123p.
- [3] Baldé, I. (2008) Mise en place d'une plateforme de cartographie dynamique, *Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de conception en Génie Informatique, Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar (Sénégal)*, 135p.
- [4] Bassolé, A., Brunner J., Tunstall, D. (2001) SIG et appui à la planification et à la gestion de l'environnement en Afrique de l'Ouest, *Institut des Ressources Mondiales (WRI)*, 47p.
- [5] Marsden, R. (2009) John Snow and the Broad Street Cholera Outbreak of 1854, *British Medical Journal*, 1963, 1079-1080.
- [6] Ouédraogo, J-C. (2003) Conception d'un Système d'information géographique : Inventaire des bas-fonds, *Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Informatique, Ecole Supérieure d'informatique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina-Faso)*, 106p.
- [7] Ould Ahmed Bamba, D., Nouedoui, A. S., Djibo Amadou, G. T., Ngangue Tchangoue, F., Diallo, S. (2005) Etat de l'art sur la conception et la mise en œuvre d'un SIG, *Rapport du Centre de Ressources en TIC : Phase II, Recherche-Développement d'Interfaces Homme-Machine basées sur les technologies sans fil et les logiciels libres, Université Cheick Anta Diop de Dakar (Sénégal)*, 150p.
- [8] Pornon, H., Yalamas, P., Pelegris, E. (2008) Services web géographiques, état de l'art et perspectives, *Géomatique Expert*, 65, 44-50.
- [9] Sanga, D., Dosso, B. (2007) Utilisation des SIG dans les Instituts / Bureaux nationaux de statistique africains, *The African Statistical Journal*, 5, 161-181.
- [10] Sorel, J. (2007) Les outils de développement cartographique (<http://jsorel.developpez.com/tutoriels/sig/outils/>), consultée le 27 octobre 2011.