

# Téledétection des catastrophes d'inondation urbaine : le cas de la région de Dakar (Sénégal)

S. Wade<sup>1</sup>, S. Faye<sup>2</sup>, M. Dieng<sup>2</sup>, M. Kaba<sup>2</sup>, N.R. Kane<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Institut des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences et Techniques Université Cheikh Anta Diop de Dakar  
BP 5396 Dakar-Fann, Sénégal, Courriel : wadesouleye@yahoo.fr

<sup>2</sup> Département de Géologie Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar  
BP 5005 Dakar, Sénégal, Courriel : nabouthies@yahoo.com

**Résumé**—Les inondations urbaines constituent une préoccupation majeure au Sénégal. Elles affectent d'une manière récurrente la ville de Saint Louis, au Nord du Sénégal, en liaison avec les crues du fleuve, mais aussi avec les eaux de pluie stagnantes. Dans la région de Dakar, les inondations ont ponctué les saisons de pluies de ces dernières années. En particulier, les événements pluvieux de 2005 ont provoqué des inondations catastrophiques qui ont affecté 16 communes sur les 26 que compte la banlieue de Dakar, entraînant la destruction de nombreuses maisons, le déclenchement d'une épidémie de choléra et le quasi-isolement de la capitale du reste du pays. Le traitement numérique et l'analyse de photographies aériennes et d'images satellitaires SPOT a permis d'établir une cartographie de l'occupation du sol de la région sur une période couvrant une quarantaine d'années (1966-2006). Cette approche a également permis cartographier les zones inondées et de découvrir qu'elles correspondent à des zones de forte croissance urbaine autour des mares et des marécages. La vulnérabilité à l'inondation est donc bien en relation avec l'installation des populations sur des sites réputés non aedificandi.

**Mots clefs** — occupation du sol, inondation urbaine, Dakar, images SPOT

## I. INTRODUCTION

La notion de catastrophe est étroitement liée à celle de risque majeur qui est définie comme un événement dangereux appelé « aléa », d'origine naturelle (séismes et éruptions volcaniques, tsunamis, inondations, glissements de terrain, sécheresses, péril acridien, foudre, feux de forêt ou de brousse, érosion côtière, etc.) ou technologique (accidents industriels, de transport aérien, maritime, ferroviaire, de transports de matières dangereuses, etc.), et dont les effets prévisibles peuvent occasionner de nombreuses victimes, d'importants dégâts matériels et un impact négatif sur l'environnement. Un risque naturel est donc la rencontre entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humains, économiques ou environnementaux.

Les catastrophes naturelles augmentent régulièrement en intensité et en fréquence, avec des effets dévastateurs sur le plan humain et sur celui du développement. En attestent, ces dernières années, les tsunamis et séismes en Asie du Sud-Est, le cyclone Katrina aux Etats-Unis et les inondations en Afrique. Les principales causes identifiées sont le changement climatique, la démographie galopante, l'urbanisation non planifiée, la dégradation de l'Environnement. En moyenne par an, de 2000 à 2005, près de 300 millions de personnes ont été affectées par les catastrophes naturelles et près de 78 000 y ont trouvé la mort (Scheuren et al., 2007). L'année 2008 a été particulièrement marquée par des catastrophes naturelles de plus en plus fréquentes dans le monde. Prenant la parole le 8 octobre, à la

Journée internationale pour la réduction des catastrophes, Salvano Briceno, directeur du Secrétariat de la Stratégie internationale pour la réduction des catastrophes (UN/ISDR), a indiqué que près de 230 000 personnes sont mortes au cours du premier semestre de 2008, suite aux conséquences des catastrophes naturelles. Au total 130 millions de personnes ont été touchées par les catastrophes naturelles qui ont fait en même temps des dégâts matériels estimés à 35 milliards de dollars américains, a ajouté M.Briceno. L'UN/ISDR indique que plusieurs événements majeurs ont été la cause principale de cette situation tragique, parmi lesquels le cyclone Nargis au Myanmar, qui a frappé le 10 mai le Sud du pays, faisant plus de 22 000 morts et 41 000 disparus ; le tremblement de terre dans la région du Sichuan, en Chine, d'une magnitude de 8,0 sur l'échelle ouverte de Richter, qui a fait au total près de 90 000 morts et disparus ; les violents ouragans dans les Caraïbes, ainsi que les fortes inondations en Inde.

Des catastrophes naturelles, de plus en plus nombreuses et de plus en plus fréquentes, affectent la plupart des pays d'Afrique Parmi elles, les sécheresses et les inondations ont des conséquences graves sur la sécurité alimentaire et hydrique qui ont énormément coûté humainement et économiquement. Le continent africain a été notamment frappé en 2007 par des inondations qui ont fait en Janvier 2 millions de victimes au Centre et à l'Est et, en Juillet et Août de la même année, 2,6 millions de victimes dans une vaste région allant d'Ouest en Est [1]. Le Sénégal subit, au rythme du changement climatique et du développement économique difficile à contrôler, une panoplie de risques majeurs, sources de vulnérabilité pour les populations, les enjeux environnementaux et économiques (PAPNGRC/DPC, 2008). Au premier rang des risques, les inondations affectent pratiquement toutes les régions du pays. Elles sont d'origine naturelle ou anthropique, liées au réchauffement de la planète (dérèglement et variabilité du climat, élévation du niveau de la mer), aux fortes précipitations, au débordement des cours d'eau ou des eaux marines, à l'urbanisation anarchique, aux défaillances en matière d'aménagement, à la déforestation, etc. Leurs impacts sont d'ordre environnemental (érosion hydrique, ravinement salinisation et pertes de sols arables), socioéconomiques et sanitaires, socio-culturels (déplacements de populations, destruction de maisons, de sites et vestiges historiques, etc.). Les dégâts dus aux inondations portent aussi sur les infrastructures, les équipements publics et l'économie nationale. Tous ces impacts et sources de précarités constituent des obstacles à l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement (OMD). Pour réduire les risques de catastrophes et donc réduire la vulnérabilité humaine et renforcer ses capacités de résistance, il faut établir et mettre en œuvre des stratégies de gestion dont la perti-

nence et l'efficacité dépendent, dans une large mesure, des connaissances établies. C'est dans le cadre de cette quête de connaissances que se situe le projet CRDI "Maîtrise des eaux pluviales et des rejets unitaires dans les espaces urbanisés de la région de Dakar, Sénégal" dont quelques résultats du volet Télédétection sont ici présentés. Les principaux objectifs visés sont : (i) l'identification et la cartographie des zones inondables ; (ii) la compréhension de l'origine et des causes des inondations ; (iii) l'élaboration d'un SIG dédié à la prévention, au suivi et à la gestion des impacts environnementaux ; (iv) la contribution à la formation et au développement des capacités de recherche et d'applications en Télédétection et SIG et (v) la sensibilisation des décideurs sur l'importance de la mise en œuvre des outils Télédétection et SIG dans la gestion des catastrophes.

## II. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

### II.1. Zone d'étude

La région de Dakar est située dans la presqu'île du Cap Vert, entre 17°10 et 17°32 de longitude Ouest et 14°53 et 14°35 de Latitude Nord. Elle est limitée à l'Est par la région de Thiès et par l'océan Atlantique dans ses parties Nord, Ouest et Sud (fig. 1).

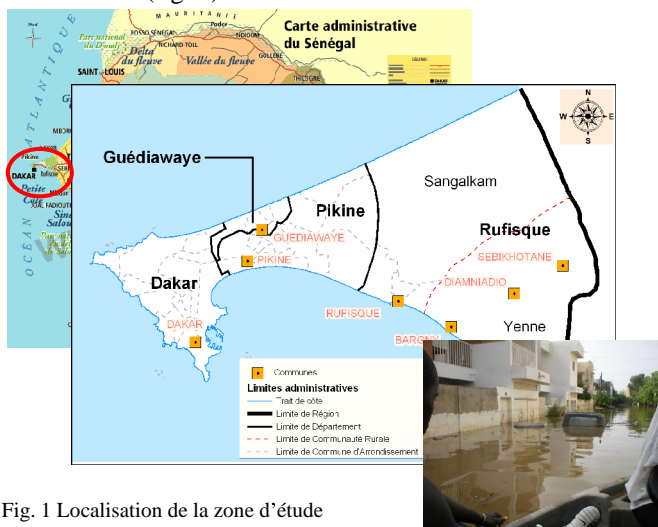


Fig. 1 Localisation de la zone d'étude

Elle occupe 0,3 % de la superficie du pays, abrite près de 22% de la population totale et est la région la plus densément peuplée avec environ 4000 habitants au Km<sup>2</sup> (Source : Projections de la Population du Sénégal issues du RGPH 2002/DPS). Elle concentre aussi 80% des industries et 75% des activités économiques et administratives. La forte pression démographique à Dakar pose de nombreux problèmes dans les domaines de l'habitat, de la santé, du transport et de l'assainissement. Dakar connaît aussi en effet des problèmes de drainage des eaux pluviales, de collecte et de traitement des déchets : seul 35% de la population est branché au réseau collectif contre 60 % au système individuel alors que 5% ne disposent d'aucun système d'assainissement 14°35 de latitude Nord. Elle est limitée à l'Est par la région de Thiès et par l'océan Atlantique dans ses parties Nord, Ouest et Sud (fig. 1). Elle occupe 0,3% de la superficie du pays, abrite près de 22% de la population totale et est la région la plus densément peuplée avec environ 4000 habitants au Km<sup>2</sup> (Source : Projections de la Po-

pulation du Sénégal issues du RGPH 2002/DPS). Elle concentre aussi 80% des industries et 75% des activités économiques et administratives. La forte pression démographique à Dakar pose de multiples problèmes dans les domaines de l'habitat, de la santé, du transport et de l'assainissement. Dakar connaît, en effet, depuis quelques années des problèmes de drainage des eaux pluviales, de collecte et de traitement des déchets : seul 35% de la population est branché au réseau collectif contre 60% en système individuel alors que 5% ne disposent d'aucun système d'assainissement. La moyenne pluviométrique annuelle y est de 500-600 mm.

La région de Dakar est localisée dans la zone dite des Niayes, longue de 180 km, large de 5 à 30 km et constituée d'une succession de grandes dunes de sable longitudinales, orientées NE-SW, de 15-25 m d'altitude. Entre les dunes s'intercalent des dépressions humides, tracés d'anciens réseaux hydrographiques ou bas-fonds inondés par les émergences de la nappe phréatique en saison des pluies. L'occupation anarchique de l'espace en général et l'urbanisation de zones non aedificandi en particulier ont eu pour conséquences : la rupture de la continuité hydrographique entre les cuvettes d'une part et l'inondation récurrente de certaines zones d'habitat spontané, d'autre part.

### II.2. Problématique des inondations urbaines

Les catastrophes d'inondations hivernales récurrentes survenues ces dernières années dans la région de Dakar (1989, 1995, 1996, 1998, 2000, 2003 et 2005) sont dues à une combinaison de facteurs naturels et anthropiques : (1) la remise en eau de bas fonds qui s'étaient asséchés pendant les années de pluviométrie déficitaire ; (2) l'installation de quartiers spontanés dans les bas fonds (3) le retour, suite à la période déficitaire des années 1970, à une pluviométrie normale, caractérisée par de fortes averses ; (4) la remontée de la nappe phréatique, induite par la recharge et la diminution des débits extraits pour l'approvisionnement en eau potable ; (5) la nature des sols et le défaut de planification des infrastructures d'urbanisation et d'assainissement, face à la pression démographique.

Les inondations liées aux événements pluvieux de l'hivernage 2005 ont affecté une bonne partie de la banlieue dakaroise, entraînant, dans 16 Communes d'arrondissement sur les 21 que compte le Département de Pikine-Guédiawaye, la destruction des infrastructures, le déclenchement d'une épidémie de choléra et le quasi-isolement de Dakar du reste du pays. Des camps de sinistrés, regroupant au total 2723 familles, furent installés dans des écoles et des casernes militaires. Le plan ORSEC fut déclenché au plan national et la Charte Internationale « Espace-Catastrophe » fut activée par la Protection Civile Française. Deux mesures institutionnelles furent prises par l'Etat du Sénégal : (1) l'adoption du Plan dit «Diakhaye» pour la création de nouveaux pôles d'habitats et (2) la création de l'Agence Nationale de Lutte contre les Inondations et les Bidonvilles. Face à ces mesures institutionnelles, on a noté une recrudescence des inondations urbaines qui ont affecté toute la banlieue dakaroise durant les événements pluvieux de l'hivernage 2008.

### III. MATERIELS ET METHODE

#### III.1. Base de données

Une base de données-images multi-temporelles a été mise en place pour réaliser l'analyse multi-date de l'évolution de l'occupation du sol dans la région de Dakar (tableau 1). Elle comprend des photographies aériennes de 1966 et 1978, ainsi que des images SPOT de 1986, 1995, 2005 et 2006. Les images de 2005 ont été prises en pleine inondation, alors que les autres, prises hors inondation, servent de référence. D'autres données vecteur (cartes topographiques au 2000°, 5000° et 50 000°) et Raster (Photos, images) ont complété la base qui a servi à la réactualisation des travaux antérieurs sur la dynamique urbaine dans la région de Dakar.

Tableau 1 Base de données-images

Données-images	Date	Satellite/Capteur	Résol. spatiale (m)	Coordonnées
Photoaérienne	1966			
Photoaérienne	1978			
Multispectrale couleur	1986	SPOT-4/HRV	20	K/J 020/320
Multispectrale couleur	1995	SPOT-4/HRV	20	K/J 020/320
Multispectrale couleur	07/09/2005	SPOT-5/HRV	10	K/J 020/320
Multispectrale couleur	23/10/2006	SPOT-5/HRV	10	K/J 020/320
Panchro Noir & Blanc	23/10/2006	SPOT-5/HRV	2,5	K/J 020/320

Le traitement numérique de la série diachronique de données satellitaires a permis d'élaborer des cartes d'occupation du sol qui mettent en évidence les changements survenus, avec un intérêt particulier pour les surfaces en eau libre et les zones inondables.

#### III.2. Méthodologie

La base de données images a été exploitée pour réaliser une analyse multi-date de l'évolution de l'occupation du sol sur une longue période de 40 ans. Auparavant les images ont subi un certain nombre de pré-traitements et de traitements, notamment des corrections géométriques et radiométriques, des recalages image-image, et des classifications multispectrales. Ainsi, l'image panchromatique 2,5 m noir-et-blanc du 23/10/2006 a été corrigé géométriquement grâce à des points de contrôle au sol (amers), choisis pour permettre le rattachement au nouveau Réseau de Référence au Sénégal (RRS04). Ce système tridimensionnel et géocentrique, correspond à la réalisation locale du système mondial ITRF2000, lui-même très proche du système mondial WGS84. L'image SPOT panchromatique a servi, par technique de fusion d'images, à porter à 2,5 m la résolution spatiale des images multispectrales couleur 10 mètres. Les images multispectrales couleur à résolution spatiale rehaussée permettent, en contexte de bâti urbain dense, de réaliser une analyse fine de l'occupation du sol et de cartographier les zones inondées (fig. 2), en corrélation avec la dynamique urbaine.

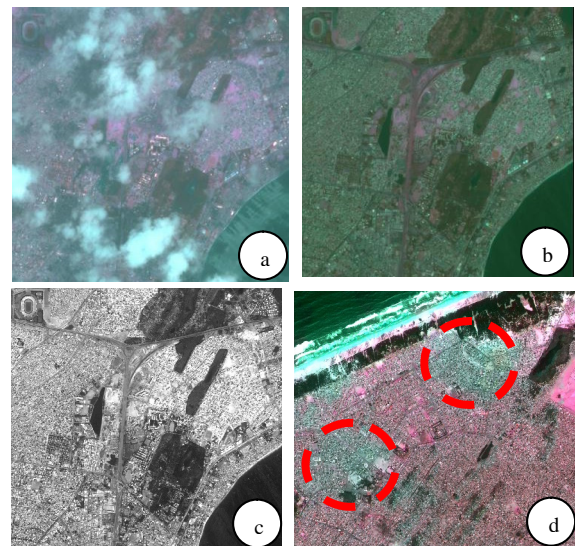


Fig.2. Extraits images SPOT-5. 2a : image multispectrale 10 m couleur du 07/09/2005, acquise en pleine saison des pluies, pendant l'inondation de 2005. Noter la forte couverture nuageuse. 2b : image multispectrale 10 m couleur du 23/10/2006, acquise en saison des pluies, mais en l'absence d'inondation, hormis les reliques de l'année précédente. 2c : image panchromatique 2,5 m noir-et-blanc du 23/10/2006, acquise à la même date que la précédente, mais à une meilleure résolution spatiale. 2d : image SPOT couleur du 07/09/2005 à résolution de 10 m rehaussée à 2,5 m par fusion avec l'image panchromatique. Les zones inondées dans la commune de Yeumbeul sont bien mises en évidence.

### IV. RESULTATS

#### IV.1. Dynamique de l'occupation du sol

Les cartes d'occupation du sol ont été dressées pour les années 1966, 1978, 1986, 1995 et 2008, soit environ tous les 10 ans, sur une période de 40 ans. L'enseignement majeur tiré de ces cartes est que la croissance urbaine s'est faite en particulier autour des mares et marécages, colonisant ainsi d'année en année un espace réputé non aedificandi (fig. 3).

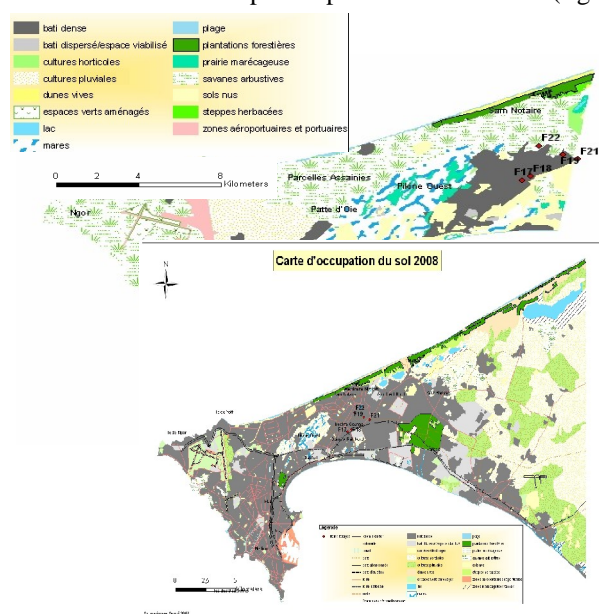


Fig. 3 – Cartes d'occupation du sol en 1966 (haut) et 2006 (bas). Noter la forte croissance urbaine autour des mares et marécages de 1966 à 2006



IV.2. Cartographie des inondations

Les cartes des zones inondées en 1995 et 2005 (fig. 4a et 4b) ont été déduites des cartes d'occupation du sol. La superposition de ces dernières montre les zones inondées une année ou l'autre, ainsi que celles inondées les deux années (fig. 4c). Ces dernières s'avèrent être les plus vulnérables.

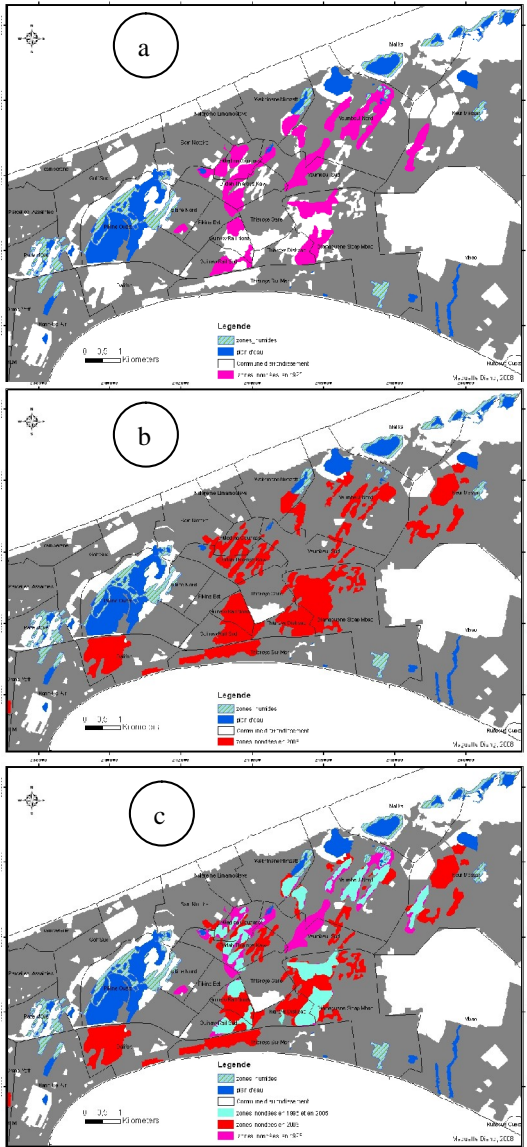


Fig. 4 – Cartes des inondations de 1995 (a), 2005 (b). Analyse de vulnérabilité à l'inondation (c).

V. DISCUSSIONS

L'évolution de l'occupation du sol à Dakar rend compte de la dynamique urbaine. Elle a été analysée en rapport avec, d'une part, l'extension des zones inondées en 1995 et en 2005 et, d'autre part, avec les statistiques de l'évolution démographique, des précipitations annuelles et des précipitations journalières de 2005, mesurées à la station de Dakar-Yoff (fig. 5). L'exode massif des populations rurales vers les grandes villes lors des années de déficit pluviométrique, conjugué avec le fort taux de natalité, explique la croissance exponentielle de la population de Dakar, de 1904 à 2004,

passant de 45 000 à 2 583 000 habitants (fig. 5a). L'analyse des statistiques de précipitations annuelles de 1919 à 2006 met en évidence la période de sécheresse 1970-1988, encadrée par la période de forte pluviométrie d'avant 1970 et celle de moyenne pluviométrie d'après 1988 (fig. 5c). Le pic de précipitations de l'année 2005 est également bien visible. Dans le détail, l'année 2005 est caractérisée par une forte concentration des précipitations sur une très courte période. En effet, sur un total de 590 mm de pluies, 270 mm, soit 46% sont tombées en 7 jours en mi-août et 360 mm en 14 jours, soit 61% en fin août et début septembre (fig. 5d-f).

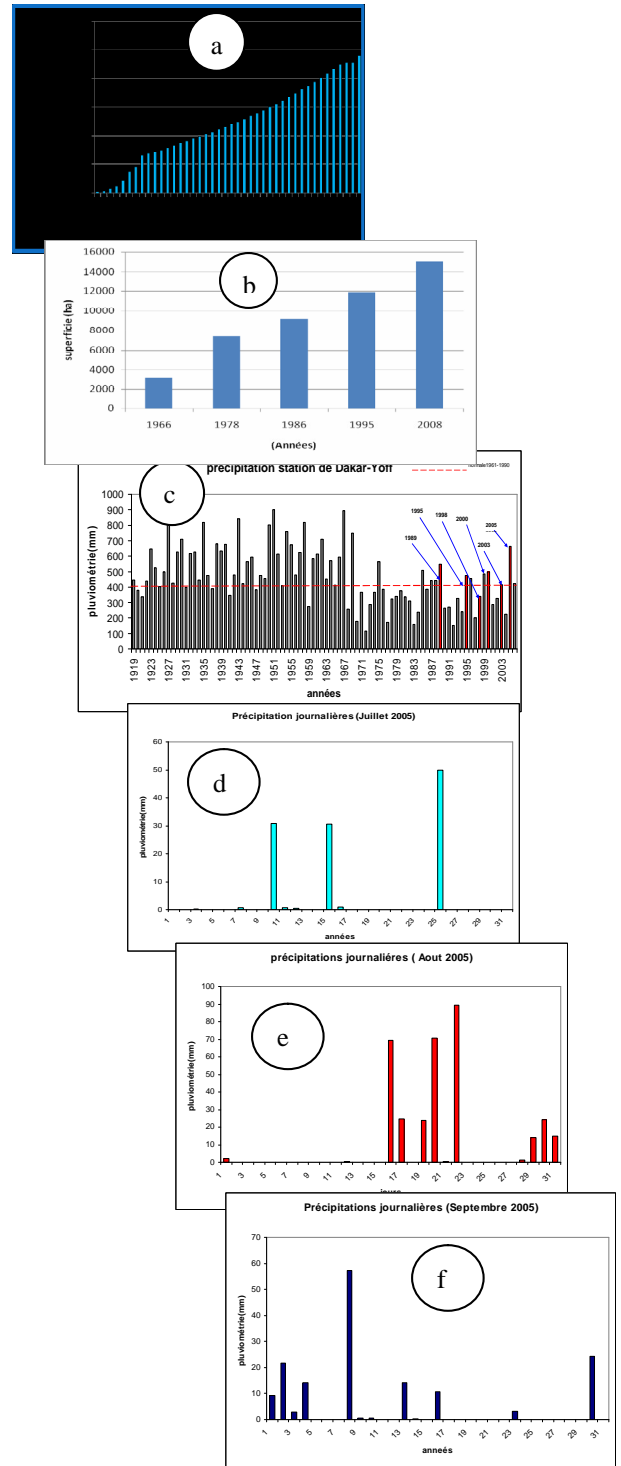


Fig. 5 - Evolution de la population de Dakar de 1904 à 2004 (a), du bâti de 1966 à 2008 (b), des précipitations annuelles (c) et journalières en juillet (d), août (e) et septembre 2005 (f).

## VI. CONCLUSION

Le traitement et l'analyse des données SPOT démontrent bien le potentiel réel de l'imagerie optique très haute résolution (THR) dans le suivi de l'évolution des milieux urbains. Différentes classes d'occupation du sol ont pu être distinguées : (i) végétation naturelle, (ii) surface en eau libre, (iii) zones artificielles, (iv) zones de cultures et (v) zones nues. Les espaces inondés ont pu être cartographiés et le degré de vulnérabilité à l'inondation des différentes communes évalué. Ceci démontre l'intérêt de l'application de la technologie spatiale pour la compréhension et la gestion des catastrophes d'inondation. Les études en cours s'intéressent à l'apport de l'imagerie radar « tout temps » qui pourrait compléter l'imagerie optique dont on sait que la qualité et la disponibilité restent dépendantes des conditions météorologiques. Enfin, la phase ultime du projet s'attellera à l'élaboration d'un SIG dédié aux inondations, outil d'aide à la décision.

**Remerciements** – *Les auteurs remercient vivement la coopération canadienne CRDI et l'Université du Québec à Montréal (UQAM) pour la subvention de recherche accordée dans le cadre du projet « Gestion locale de l'eau à l'aide de systèmes d'information géographiques (SIG) dans les pays francophones d'Afrique de l'Ouest et du Nord ».*

## REFERENCES

- [1] Scheuren J.M., le Polain de Waroux O., Below R., Guha-Sapir D., Ponsler S. (2007) – Annual Disaster Statistical Review. The Numbers and Trends 2007. CRED/ISDR.
- [2] PAPNGRC/DPC, 2008 – Analyse contextuelle des risques majeurs au Sénégal et orientations stratégiques pour la réduction des risques de catastrophes. Rapport Atelier 30 décembre 2008.
- [3] Horritt M.S. (2000) – Calibration of a 2-dimensional finite element flood model using satellite radar imagery. *Water Resources Research*, 36(11), 3279-3291.
- [4] Meyer C. Geldreich P. Yésou H. (2001) - Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de tempête dans la forêt de Haguenau (Alsace, France). Conférence SPOT 5 « vers de nouvelles applications », Toulouse 27-28 novembre 2001.
- [5] Ortolani A et Francesco M. (2000) - Validating soil moisture estimation with ERS PRI data : operational use in DECIDE, a decision support system for floods. ERS – ENVISAT Symposium Looking down the Earth in the New Millenium. Gothenburg, Sweden 16 – 20 October 2000.
- [6] Schneider T. (2000) - Evaluation of multitemporal radar data for the mapping of inundation dynamics in the Save flood plain (Croatia). ERS – ENVISAT Symposium Looking down the Earth in the New Millenium. Gothenburg, Sweden 16 – 20 October 2000.
- [7] Sandholt I., Bjarne F. (2000) - Flood monitoring in the Senegal river valley: first results based on SAR PRI data. ERS – ENVISAT Symposium Looking down the Earth in the New Millenium. Gothenburg, Sweden 16 – 20 October 2000
- [8] Yésou H. et Chastenet P. (2000) - Contribution des données d'observation de la Terre à la gestion des crues lentes, Rapport Final WP3, Programme Eau et Feu, ESA, 35.
- [9] Bocoum O., Fog B., Lô M., Nybord L., Rasmussen K., Sandholt B., 2003. Remote sensing techniques for flood monitoring in the Senegal River Valley. *Geographisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*, 103, 1, 71-81.
- [9] Yésou H., Meyer C., Clandillon S., De Fraipont P., 2001. Apport des données simulées SPOT 5 pour la gestion du risque d'inondation. *Bull. SFPT*, 151-161.
- [10] Flouzat G. Puech C. Dartus D. (2003) - Les observations par satellite pour l'analyse et le suivi du fonctionnement des hydro-systèmes, *Bulletin de la SFPT*, n°172 (2003-4), pp. 3-10.
- [11] Henry J. B. et al., 2003. Vers une intégration des techniques spatiales pour la gestion des inondations. In *Bull. SFPT*, n°172 Hydrosystèmes et télédétection à haute résolution, p. 99-106.
- [12] Henry J. B., 2004). Système d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur – Strasbourg I.
- [13] Onana V.P., Rudant J.P., Etouana J. et Wade S. (2005) - Dynamique urbaine à l'aide d'images RSO de ERS et HRV de SPOT et son impact dans les facteurs d'aggravation des risques d'inondation en milieu urbain: cas de la ville de Douala (Cameroun). *Télédétection*, vol. 5, n° 1-2-3, 2005.
- [14] Bâ K., Wade S., Niang I., Trebossen H., Rudant J.P. (2006) – Cartographie radar en zone côtière : applications à l'évaluation et au suivi environnemental de la Langue de Barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal. *Télédétection 2007*, Vol. 7, N° 1-4
- [15] Dia A.M., Wade S., Deroin J.P., Frison P.L., Kouamé J., Rudant J.P. (2006) - Apport des données SPOT et Landsat au suivi des inondations dans l'estuaire du fleuve Sénégal. *PHOTO-INTERPRETATION N° 2006/4*.
- [16] Wade S., Bâ K., Niang I., Trébossen H., Rudant J.P. (2006) - Coastal zone mapping using multitemporal ERS SAR and ENVISAT ASAR data. *Proceedings ENVISAT Symposium 2007*, Montreux, Switzerland 23-27 April 2007, ESA SP636.
- [17] Wade S., Rudant J.P., Bâ K., NDoye B. (2008) – Applications de la Télédétection et des SIG à l'étude des inondations urbaines de Saint Louis et du ravinement des sols par érosion hydrique à Niouro-du-Rip (Sénégal). *Télédétection*, vol. 8, n° 3, 2008.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.