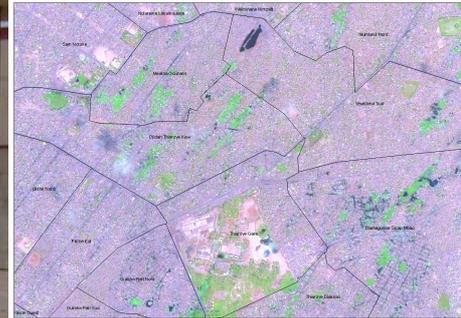


 Université Cheikh Anta Diop (UCAD) Faculté des Sciences et Techniques Département de Géologie BP 5005 Dakar, Sénégal	 Centre de Recherche pour le Développement International  Université du Québec à Montréal
---	--

**SUBVENTION DE RECHERCHE SUR LA "GESTION
LOCALE DE L'EAU A L'AIDE DE SYSTEMES D'INFORMATION
GEOGRAPHIQUES (SIG)" DANS LES PAYS FRANCOPHONES
D'AFRIQUE DE L'OUEST ET DU NORD**

Projet CRDI 103589-001 UCAD/UQAM

RAPPORT TECHNIQUE FINAL



Département de Géologie Faculté des Sciences et Techniques

(FST)/Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar (Sénégal) Email: scisse@ucad.sn et fayes@ucad.sn

Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA)/Institut des Sciences de la Terre (IST), Faculté des Sciences et Techniques (FST)/Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar (Sénégal) Email: wadesouleye@yahoo.fr

Centre de Suivi Ecologique Dakar Sénégal (CSE) BP 15 532, Dakar – Fann, SENEGAL

Novembre 2009

Titre du Projet : Maîtrise des eaux pluviales et des rejets unitaires dans les espaces urbanisés de la région de Dakar, Sénégal

Projet CRDI 103589-001 UCAD/UQAM

Nom et adresse de l'Université : Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Faculté des Sciences et Techniques/Département de Géologie, BP 5005 Dakar **SENEGAL**

Pays : SENEGAL

Membres de l'équipe de recherche :

Nom	Titre	Spécialité	Coordonnées
Dr. Seynabou Cissé Faye	Responsable du projet ; Maître Assistante	Hydrogéologie, Vulnérabilité, SIG	Géol/FST/UCAD Tel: (221)772023501/Fax:(221)338246318 scisse@ucad.sn nabouthies@yahoo.com
Dr. Souleye Wade	Maître Assistant	Télédétection, Géologie, Risques Naturels	IST/FST/UCAD Tel: (221)775794147/Fax:(221)338246318 Email : wadesouleye@yahoo.fr
Mr. Mamadou Niane	Docteur en SIG	SIG et Modélisation des ressources naturelles	Wet land / DAKAR SENEGAL

- **Pr. Cheikh Bécaye Gaye**, Dpt Géol/FST/UCAD, Hydrogéologie/Géochimie isotopique
- **Dr. Serigne Faye**, Maître de Conférences, Dpt Géol/FST/UCAD, Hydrogéologie/Hydrochimie /Modélisation
- **Dr. Abdoulaye Faye**, Maître de Conférences, Dpt Géol/FST/UCAD Hydrogéologie/Hydrochimie

- **Mr. Malick Gaye** : spécialité Recherche-Action dans le développement urbain, **ENDA-RUP, Dakar**, rup@enda.sn, tél. (221) 33822 09 42

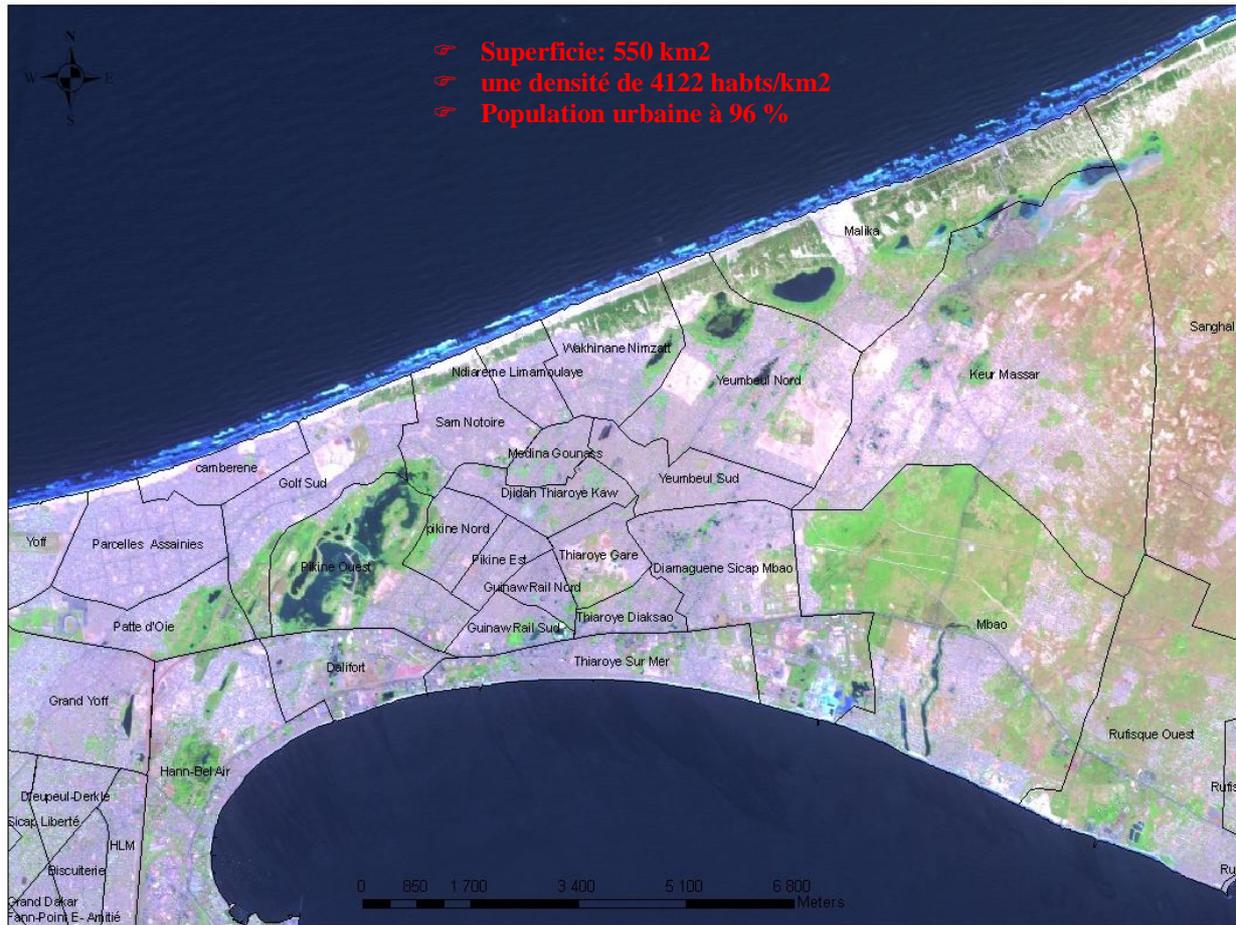
Etudiants thésards 3^{ème} cycle: **Ousmane Coly Diouf** (UCAD), **Mathias Diédhiou** (Rhur Univ. Bochum, Allemagne/UCAD),

Etudiants en DEA (Diplôme d'Etude Approfondie) : **Ndèye Magatte Dieng**, **Nafy racine Sow**, **Mariama Kaba** (UCAD)

Période : Octobre 2006 – Novembre 2009



Localisation...



Photos d'inondation de Dakar et sa banlieue en 2005



2. SYNTHÈSE

La ville de Dakar et sa grande banlieue qui comptent aujourd'hui près de 2.5 millions d'habitants connaissent des problèmes environnementaux récurrents et parfois sévères, entraînant des dégâts importants et des sinistres. Les plus préoccupants sont les inondations hivernales récurrentes de ces dernières années. Ces catastrophes sont à l'origine de la dégradation du cadre de vie dans une bonne partie des quartiers de la banlieue. Par exemple en 2005, 16 communes d'arrondissement sur les 21 que compte le département de Pikine-Guédiawaye ont été affectées. La détérioration de la qualité des eaux de la nappe dont le niveau de pollution ($\text{NO}_3 > 200\text{mg/l}$) a atteint des proportions inquiétantes et son utilisation par les populations locales constitue une autre préoccupation majeure surtout de la part des autorités en charge du secteur de l'eau. Ce présent projet de recherche vise à élaborer les indicateurs des impacts environnementaux en tenant compte des variables physiques, socio-économiques et de la perception des nuisances par les populations, puis de construire un outil de diagnostic plus synthétique qui tienne compte de la dimension historique et prospective des impacts environnementaux. Il prend également en compte les transferts de polluants liés à l'eau d'infiltration des systèmes d'assainissement individuel dans le milieu poreux où une attention particulière sera portée sur le pouvoir épurateur des sols de la zone non saturée. Ainsi par essai de colonnes, on a pu déterminer expérimentalement au laboratoire d'hydrochimie de l'université de Bochum en Allemagne, le pouvoir réducteur de la zone non saturée particulièrement de la zone capillaire dans le cadre des travaux de l'étudiant Mathias Diedhiou.

L'approche systémique retenue dans la démarche méthodologique pour atteindre ces objectifs met en synergie la Télédétection, les Systèmes d'Informations Géographiques et les techniques hydrogéologiques. Cette démarche a permis durant la deuxième année de continuer les activités de recherche déjà entamées depuis la première phase du projet et qui se résument comme suit :

1. Activités de recherche concernant le volet « Télédétection et SIG ». Après la première année consacrée à la formation des trois étudiants de DEA (Ndèye Magatte Dieng, Nafi Racine Sow et Mariama kaba) en Télédétection et SIG au laboratoire de Télédétection Appliquée (**LTA**) / Institut des Sciences de la Terre (**IST**), un stage pratique au Centre de Suivi Ecologique (**CSE**) a suivi. La collaboration étroite avec les techniciens du CSE a été d'un grand apport dans l'exploitation et le traitement des images SPOT acquises sur financement du projet, mais surtout a permis d'exploiter la base de données du CSE et de concevoir un SIG sur les inondations de Dakar intégrant l'ensemble des résultats thématiques du projet.

2. Activités de recherche du volet « Hydrogéologie ». L'objectif visé est de caractériser l'état de contamination, d'identifier les sources et les mécanismes de pollution, d'évaluer le bilan hydrique et le comportement hydrodynamique de la nappe dans les bas fonds en rapport avec les inondations. En plus de la revue bibliographique et de la compilation des données existantes lors de la première année, quatre missions de terrain ont été effectuées lors de la deuxième année, suivies de l'exploitation des données obtenues. Les quatre missions de terrain (aux dates du 16.02.08 au 01.03.08 ; du 27.06.08 au 12.08.08 et du 25.09.08 au 05.10.08) ont permis l'échantillonnage pour les analyses chimiques et les mesures des paramètres physico-chimiques sur la nappe à différentes périodes de l'année. Le niveau statique de la nappe a été également mesuré ainsi que le suivi piézométrique de quelques ouvrages choisis en zone d'inondation. Durant l'hivernage 2008, les hauteurs de

précipitation ont été relevées à chaque événement pluvieux sur huit stations pluviométriques localisées dans la région de Dakar et les analyses chimiques des eaux de pluie effectuées (pour détermination du signal d'entrée à la nappe). La quatrième mission (17- 25.11.08) essentiellement dédiée aux travaux dans la zone non saturée a permis de reprendre certains profils dans la zone de Thiaroye où la nappe souterraine est fortement contaminée.

La phase de prolongation du projet (Juin – Octobre 2009) a permis l'acquisition de données hydrogéologiques complémentaires concernant la piézométrie et la l'hydrochimie du système aquifère en période d'étiage et en saison des pluies pour l'année 2009 et également des paramètres du sol sont obtenus sur des profils réalisés en zone non saturée. Durant cette phase se sont déroulées trois missions de terrains établies comme suit :

15 – 27 Juin : Campagne pré hivernale (Chimie et piézométrie) ;

10 – 20 Août : Exécution de profils en zone non saturée ;

25 - 31 Octobre : Campagne post hivernale (piézométrie, chimie majeur et métaux lourds : Hg, Zn, As, Cu, Cd, Pb).

3. Activités du volet « Participation locale ». Cette partie du projet est confiée à ENDA-RUP, partenaire de l'UCAD dans le projet. Les termes de référence suivant 2 volets ont permis de réaliser durant la première année le volet I : *« Identification des acteurs et analyse des contextes socio-économique et organisationnel »*, et durant la deuxième année, le volet II : *« Diagnostic participatif avec les acteurs locaux par l'organisation de forum ou d'ateliers dans les communes d'arrondissement pour les activités de sensibilisation, d'information, de renforcement de capacités d'élaboration de plan d'action concerté »*.

Dans le but de mettre en œuvre ces activités, un séminaire de lancement a été organisé à la date du 15 Février 2007 au niveau de la commune d'arrondissement de Yeumbeul Nord, commune la plus affectée par les inondations. Pour le volet II, Cette même commune d'arrondissement a été retenue pour la tenue de ***l'Atelier de restitution partielle des résultats du projet*** à la date du 24.07.08.

Dans le déroulement des activités du volet II, un atelier de ***renforcement de capacité et d'élaboration de plan d'action concerté*** a été organisé le 18.12.08 à la Mairie de Pikine Nord, destiné aux conseillers municipaux, Organisations Communautaires de Base et Groupement de femmes, il est suivi de ***forum de sensibilisation*** (27.12.08 10.01.09 et 14.01.09) dans différentes communes d'arrondissement.

C'est dans ce volet que s'inscrit l'organisation du séminaire de restitution finale du projet tenu le 19.11.2009 à la maison de la culture DOUTA SECK. Ce séminaire de restitution et de validation des résultats du projet a connu une forte participation des autorités, décideurs, différents acteurs et structures étatiques travaillant sur la problématique des inondations urbaines à Dakar (**ANNEXE I**).

3. PROBLEME SUR LEQUEL PORTE LA RECHERCHE

Les inondations hivernales récurrentes survenues ces dernières années (1989, 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2005, 2008 et 2009) sont dues à des facteurs naturels mais aussi anthropiques: **(1)** la remise en eau de bas fonds qui s'étaient asséchés lors des 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, induite par la recharge et

une diminution des débits extraits pour l'approvisionnement en eau potable (AEP); (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 (16 Communes d'arrondissement sur les 21 que compte le Département de Pikine-Guédiawaye), entraînant la destruction des infrastructures, le déclenchement d'une épidémie de choléra et le quasi-isolement de Dakar du reste du pays. Les communes d'arrondissement et quartiers les plus touchés sont Pikine Est, Djedha Thiaroye Kao, Guinaw Rail Nord et Sud, Thiaroye-sur-Mer, Tivaouane Diack Sao, Diamaguène Sicap Mbao, Yeumbeul Nord, Yeumbeul Sud, Médina Gounass, Wakhinane Nimzatt, Daroukhane et Bagdad (**Voir Localisation**). 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 de Lutte contre les Inondations et les Bidonvilles.

Face à ces mesures institutionnelles, on a noté une recrudescence des inondations urbaines durant les événements pluvieux de l'hivernage 2008 et 2009 passé affectant à nouveau toute la banlieue dakaraise.



Cette situation témoigne de l'urgence d'impliquer des chercheurs et des structures concernées pour des solutions durables.

La détérioration de la qualité des eaux de la nappe dont le niveau de pollution a atteint des proportions inquiétantes au niveau de certaines localités constitue une préoccupation majeure aussi bien de la part de l'Etat du Sénégal chargé de l'approvisionnement en eau des populations par l'intermédiaire des sociétés SONES/SDE. Cette préoccupation est aussi partagée par les populations locales des zones démunies qui ont tendance, du fait du coût élevé de l'eau, à avoir recours aux puits traditionnels, pompes « Diambars »; ce qui pose un énorme problème de santé publique dans ces zones démunies. Cette tendance est confirmée par les ouvrages modernes implantés en plein cœur de la zone de Thiaroye, qui participent au réseau de distribution d'eau potable de la région de Dakar. Les fortes teneurs en nitrates (>500 mg/l) des eaux de la nappe ont amené les autorités à une décision de fermeture de ce champ captant ou d'un transfert de

cette eau pour les besoins de l'agriculture urbaine. A l'heure actuelle, seul un forage est en service, avec un débit d'exploitation de 5.000 m³/j. Cette solution d'arrêt des pompages envisagée pose problème du fait de la remontée du niveau de la nappe phréatique qui peut entraîner ainsi une nappe d'inondation. Une étude récente menée par un des chercheurs principaux de l'équipe sur la vulnérabilité de la nappe phréatique à la pollution et sur l'effet de l'arrêt des pompages, par modèle hydrodynamique (**Cissé Faye, 2000**), a montré une remontée du niveau de la nappe au droit des forages d'exploitation jusqu'à 0,3m du sol, ce qui peut entraîner une inondation par affleurement de la nappe.

Face à la récurrence des inondations aux conséquences parfois dévastatrices, mais également le niveau de pollution élevé de la nappe sous la ville (NO₃ > 500 mg/L) et son utilisation, un nouveau mode de gestion urbaine, doté d'un outil de diagnostic qui tienne compte de la dimension historique (rythme de croissance démographique et du bâti) et prospective des impacts, mais également d'un système d'alerte précoce aux catastrophes, s'impose. Une approche participative et multi – acteurs a été privilégiée dans cette recherche.

La démarche méthodologique a été donnée en 6 étapes : **(1)** Recueil de données de base; **(2)** Lancement officiel du projet : information, sensibilisation et consultation; **(3)** Traitement numérique et analyse des données satellitaires; **(4)** Ateliers de diagnostic participatif; **(5)** Suivi - évaluation des résultats scientifiques et des éléments du diagnostic participatif; **(6)** Séminaire de validation et de restitution des résultats. Pour atteindre les objectifs fixés par le projet cette démarche a été rigoureusement suivie, et à ce stade toutes les étapes préalablement définies dans le cadre du projet ont été exécutées; l'étape **(6)** va se poursuivre après le projet avec la restitution, vulgarisation et publication des résultats obtenus.

4. CONSTATION DE LA RECHERCHE

TELEDETECTION / SIG

L'étape **(3)** proposée dans la démarche méthodologique a été réalisée grâce au stage des étudiants au Centre de Suivi Ecologique (CSE) durant la deuxième année. Cette phase a abouti aux objectifs suivants : **(1)** Identification et cartographie des zones inondables pour évaluer le risque hydrologique sur le bâti et les infrastructures de transport; **(2)** Compréhension de l'origine et des causes des inondations par l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol, des facteurs topographiques soutenue par l'élaboration d'un MNT et l'analyse d'une série de données diachroniques et multi temporelles de télédétection; **(3)** Cartographie thématique qui va intégrer l'ensemble des données générées pour l'élaboration d'un SIG appliqué à la gestion des catastrophes et qui sera le noyau d'un dispositif d'alerte précoce et de réaction rapide ; **(4)** Contribution par l'éducation et la recherche au développement et renforcement de capacité à l'UCAD en télédétection et SIG appliqués à la gestion des catastrophes naturelles.

Pour arriver à ces résultats les données suivantes ont été utilisées :

- Les images acquises sur financement du projet constituée d'images SPOT-5 de Dakar (1/4 de Scène, Image Couleur, Résolution 10m, datée le 09.09.2005) ; (1/4 de Scène, Image Couleur, Résolution 10m, datée le 10.10.2006) ; (1/4 de Scène, Image N&B Panchromatique, Résolution 2.5m, datée le 10.10.2006) et LANDSAT (Landsat- 5 et Landsat- 7) datées du 29.09.89 et 27.10.2000.

- La base de donnée du CSE mise à la disposition du projet et constituée d'un ensemble de données Vecteur (cartes) et Raster (Photos, images) pour une réactualisation des travaux antérieurs sur la dynamique urbaine dans la région de Dakar.
- Les données vecteurs acquises à la Direction des Travaux Cartographiques et Géographiques constituées des feuilles topographiques au 2000^e et au 5000^e, la carte topographique au 50 000.

Les résultats obtenus :

I. Apport de l'imagerie Spot sur l'analyse de la dynamique urbaine dans la région de Dakar / Impact sur les inondations:

Le comportement hydrologique des bassins versants urbains est très difficile à évaluer face à l'évolution permanente du milieu urbain. La question doit être étudiée pour répondre aux problèmes hydrologiques posés lors des évènements pluvieux. Les résultats du traitement de série de données diachroniques et multi - temporelles de données satellitaires ont permis l'élaboration par imagerie optique de cartes thématiques de référence.

L'objectif principal est de mettre en évidence les changements intervenus dans les modes d'occupation du sol, avec un intérêt particulier pour les surfaces en eau libre et les zones inondables.

PLANCHE I : Base de données utilisée
Pour l'analyse multi-date

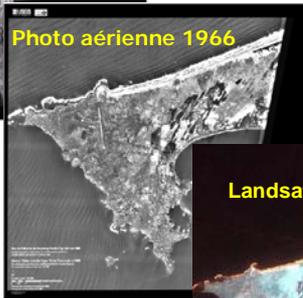
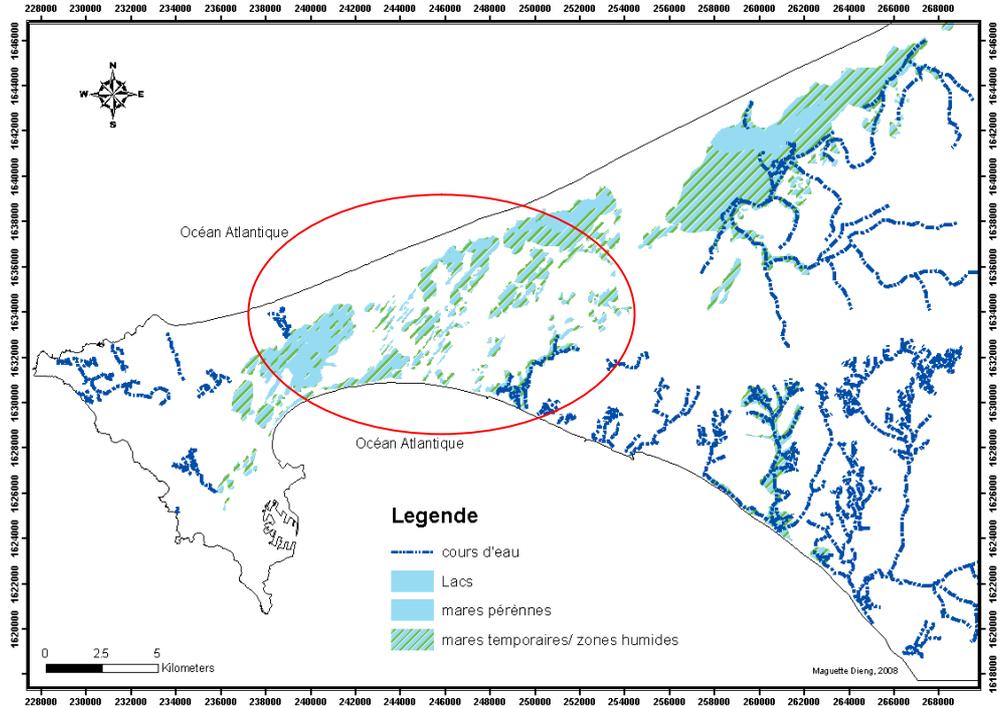
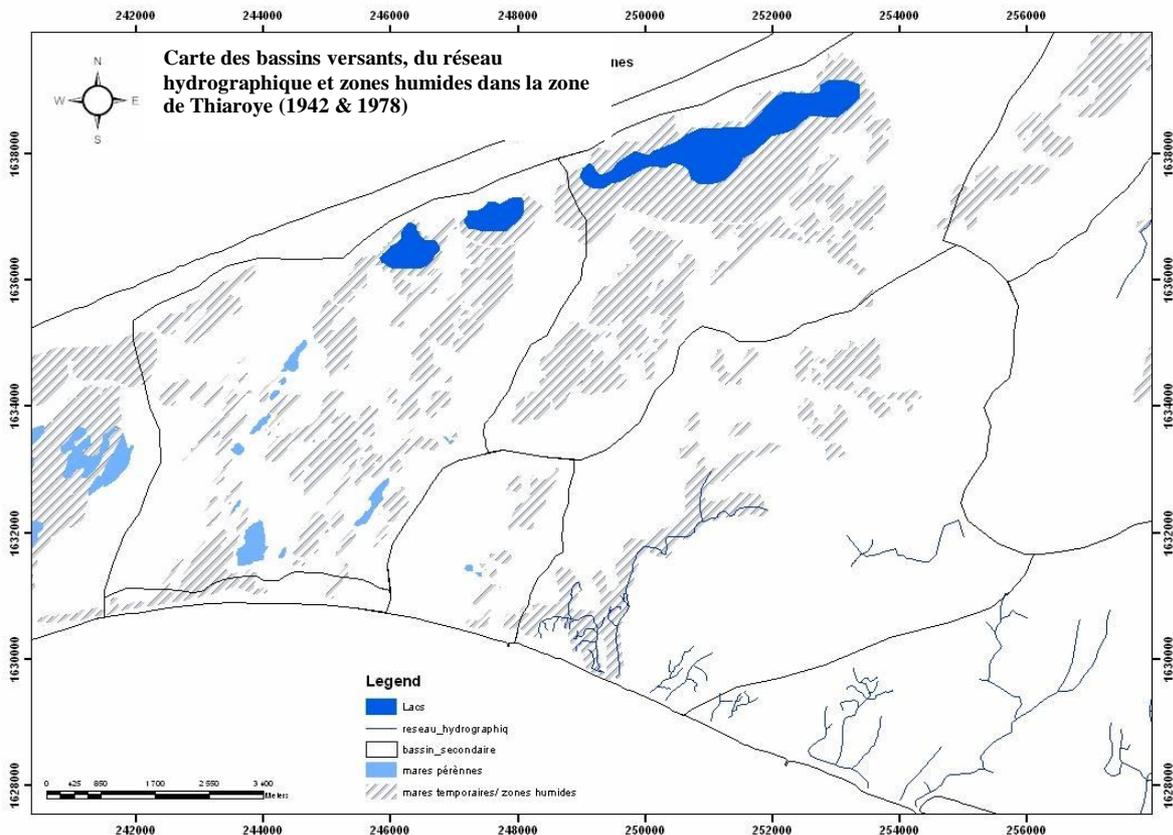


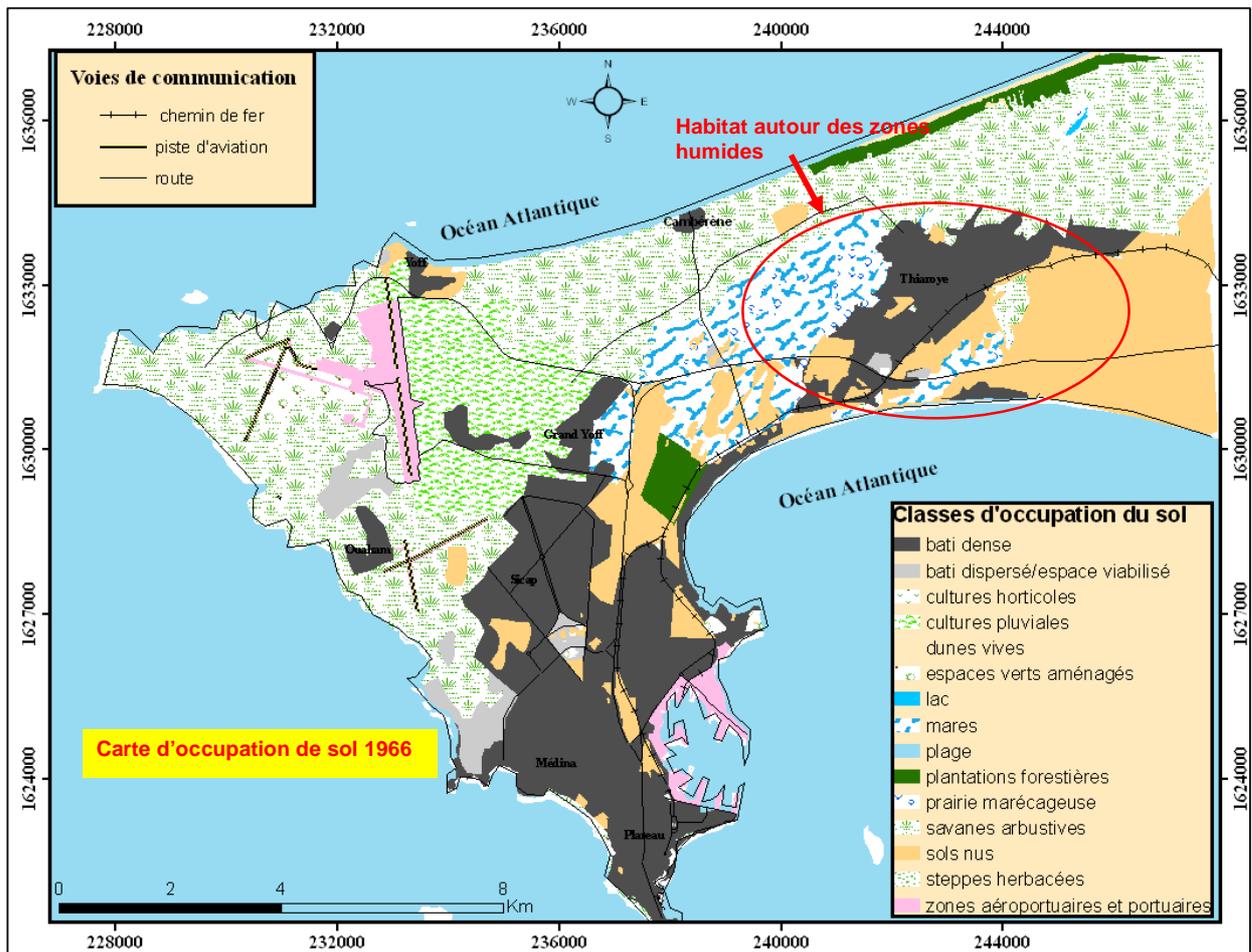
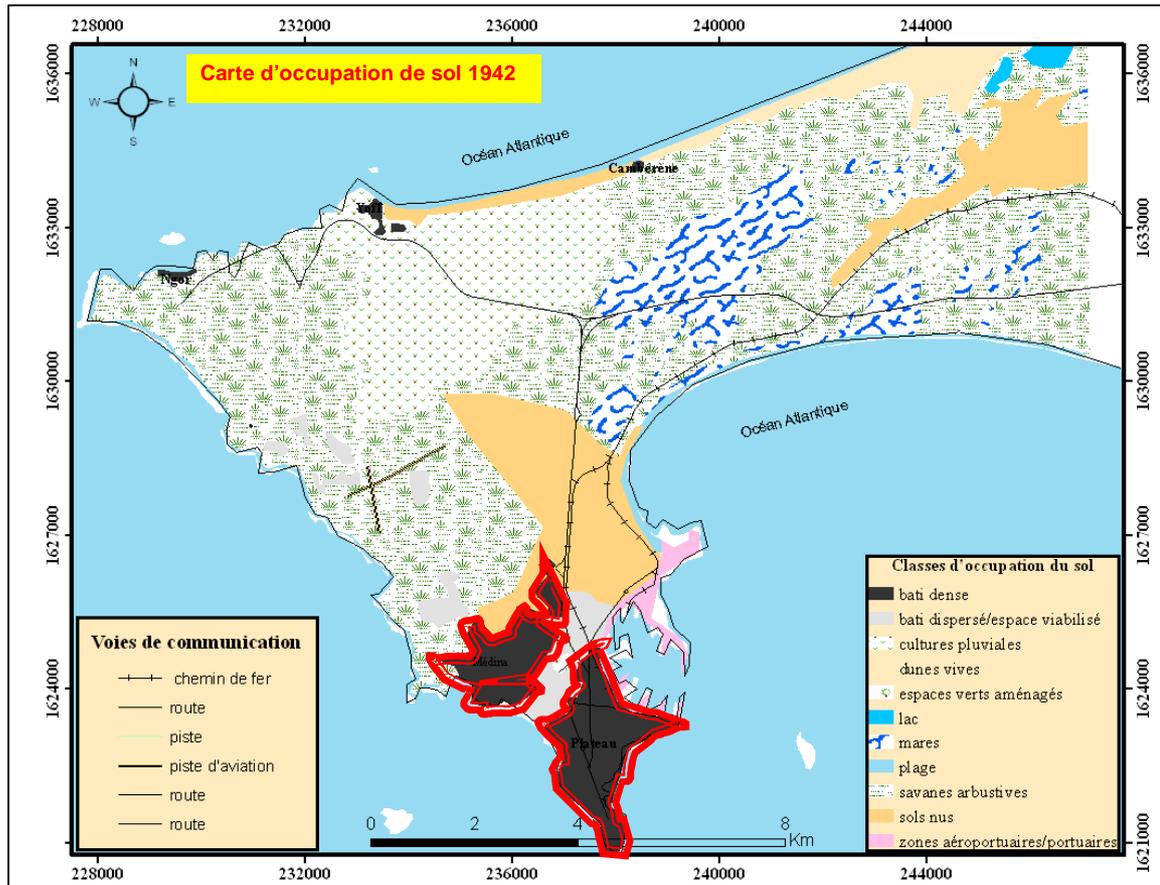
PLANCHE II :

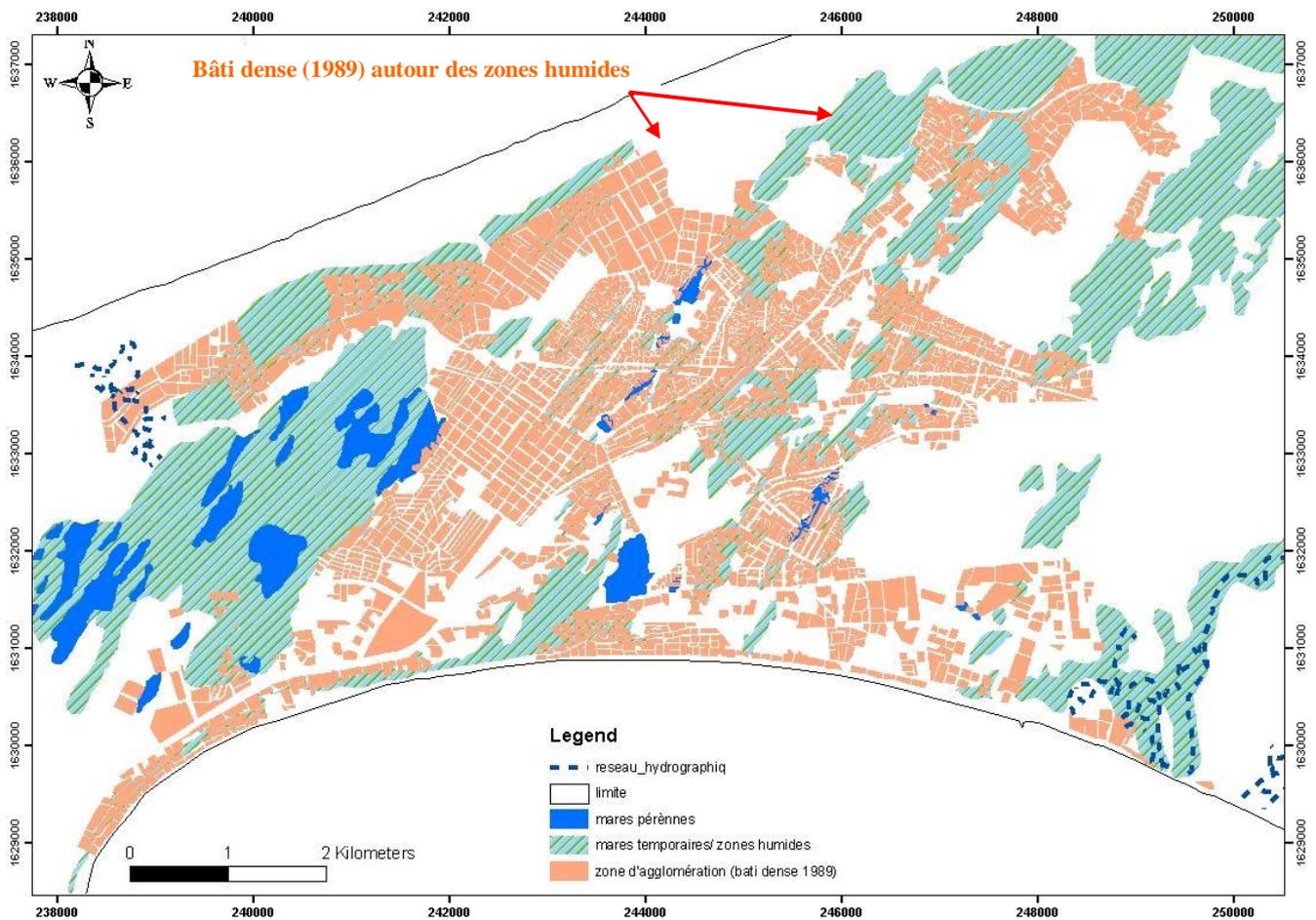
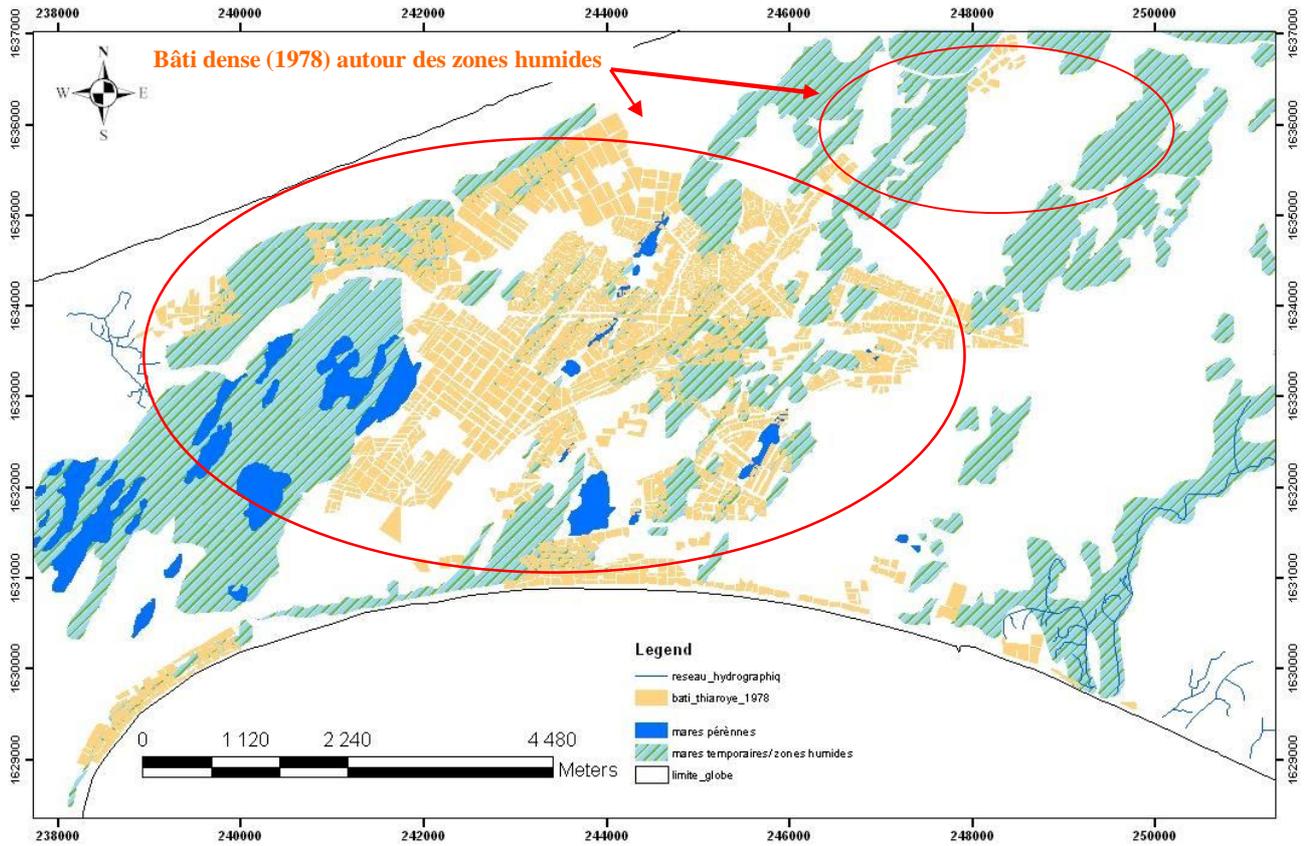
Résultats de cartographie de la dynamique urbaine en rapport avec le réseau hydrographique et les zones humides

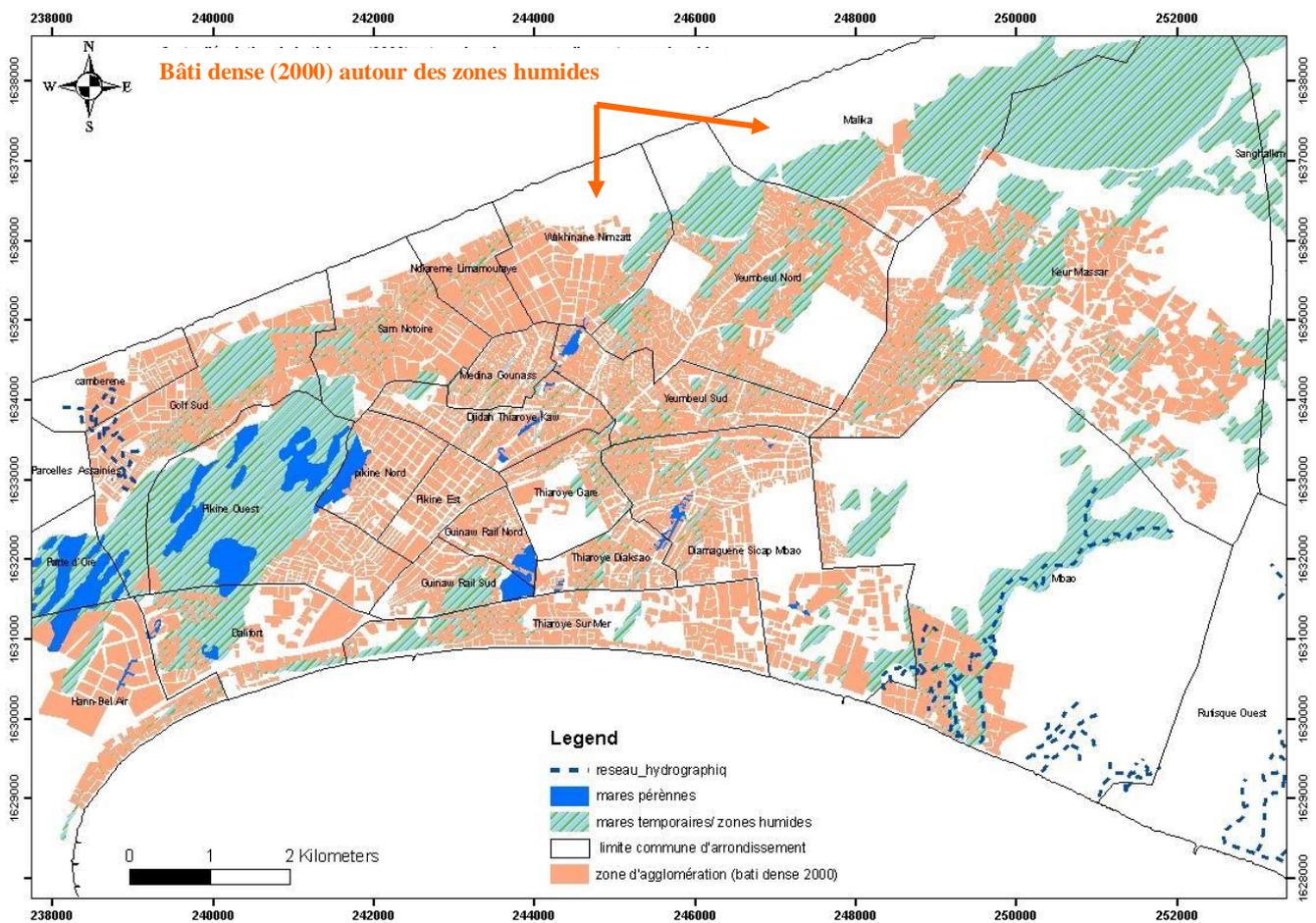
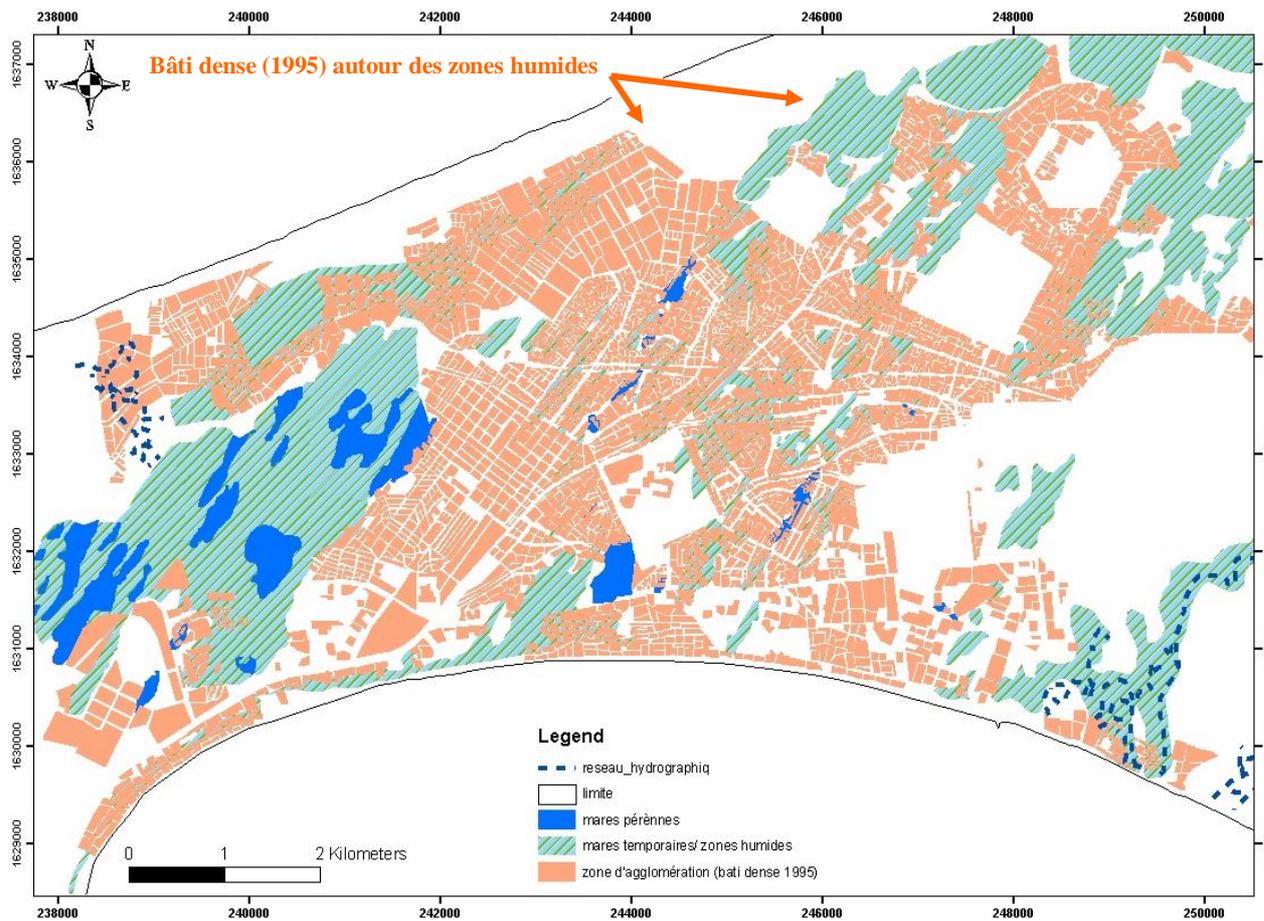


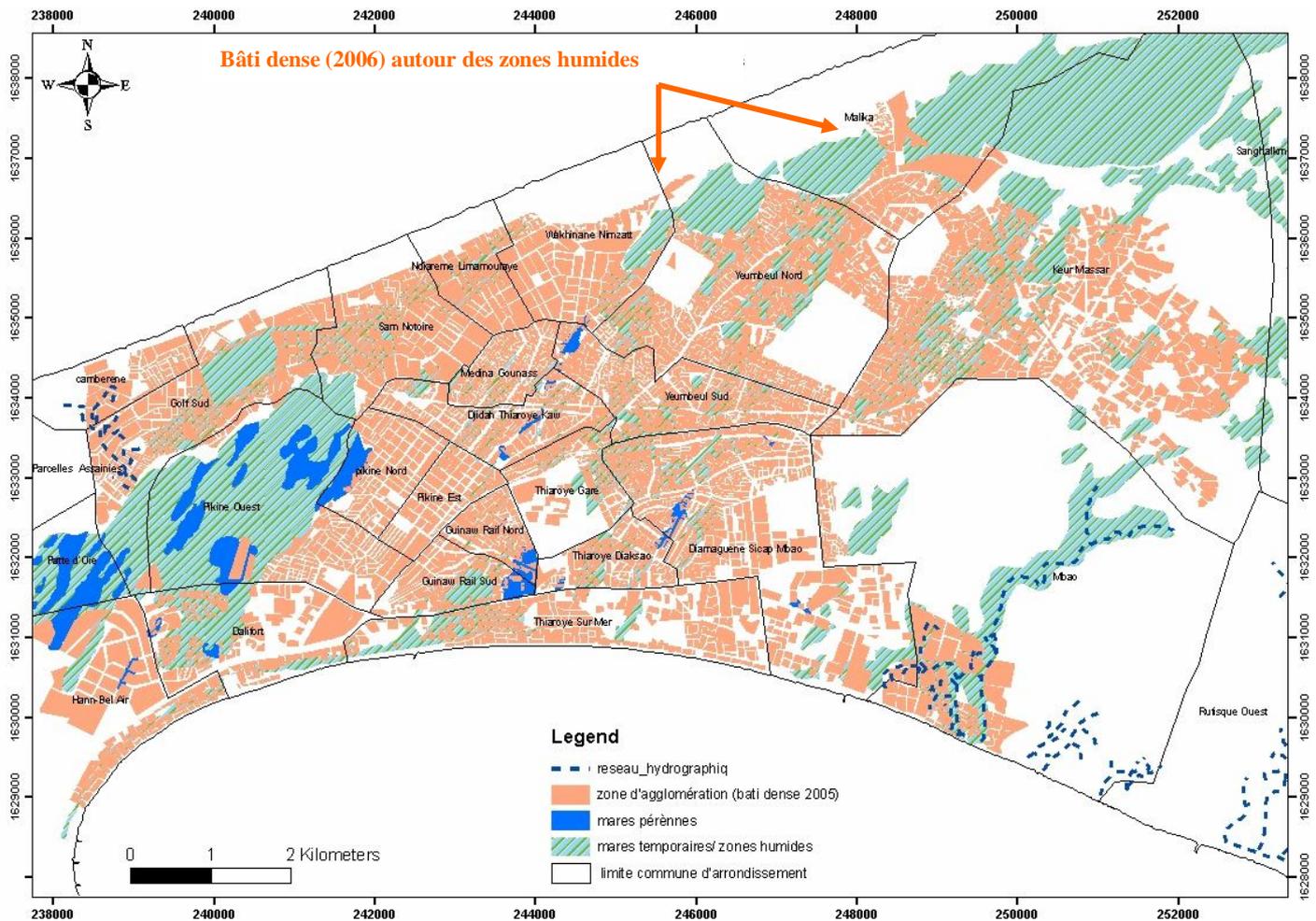
Carte du réseau hydrographique et zones humides (1942 & 1978)











La photo-interprétation montre le potentiel réel de l'imagerie Spot de très haute résolution (THR) dans le suivi de l'évolution du milieu urbain. Les résultats montrent différentes classes d'occupation de sol regroupées en 5 catégories : végétation naturelle, surface en eau libre, zones artificielles, zones de cultures et des zones nues (**Annexe II**). Pour la détection des changements, les vecteurs issus de l'interprétation sont combinés deux à deux pour obtenir une image résultante (classification croisée) et une matrice des changements (tabulation croisée). En terme de changement, trois cas de figures se sont présentés à savoir une conversion d'une catégorie à une autre, une modification au sein d'une même catégorie ou une zone sans changement. Les matrices de changement (78-86), (86-95), (95-2006) ont permis d'obtenir les données statistiques concernant les modifications ou conversions intervenues dans la zone. Les résultats des matrices de 1995 à 2006 sont mentionnés sur les **Tableaux I et II** et montrent des conversions notables avec 40,27% des surfaces dans la catégorie de végétation naturelle, zones de cultures, zones nues et plan d'eau libre qui sont transformées en zones artificielles notamment en bâti dense, bâti dispersé et espaces viabilisés.

Egalement notre analyse s'est essentiellement portée sur l'évolution des zones d'habitat dans la région depuis 1942. Les résultats obtenus révèlent l'extension du front bâti et l'empiétement sur les zones marécageuses et lacs aujourd'hui asséchés (**Fig. 1**).

Table 1: Matrice des conversions dans l'occupation des sols dans la région de Dakar entre 1995 et 2006 (Ha)
(6); (8); (1): Classes d'occupation de sol

Catégories		Zone Artificielle (1)	Zone Artificielle (2)	Zone Artificielle (4)	Zone Artificielle (200)	Total 2006	%
Zones de culture	(6)	17.78	4.9	0	0	2872	28.72
	(8)	556.1	735.1	3	43.5		
	(9)	1141.9	363.5	0	5.9		
Zones de végétation naturelle	(7)	0	0	0	0	541.37	5.41
	(10)	446.5	11.9	0	82.97		
	(16)	0	0	0	0		
Zones nues	(11)	0	0	0	0	586.7	5.87
	(12)	0	0	0	0		
	(13)	11.9	0	0	0		
	(14)	0	0	0	0		
	(100)	356.6	0	185.7	32.6		
Surfaces en eau	(3)	0	0	0	0	26.7	0.27
	(5)	24.7	0.99	0	0.99		
Total des surfaces converties		2555.5	1116.4	188.7	166	4026.8	40,27%

→ Surface des zones de culture converties en zones artificielles; des zones de végétation naturelle en Zones artificielles; des zones nues en zones artificielles et des surfaces en eau en zones artificielles

↓ Surfaces converties en zones artificielles (différentes classes) entre 1995 et 2006

II.A Matrice des modifications dans la catégorie (Zone artificielle) entre 1995 et 2006

Catégories		Zones artificielles				Total 2006	%
		(1)	(2)	(4)	(200)		
Zones artificielles	(1)	0	292.4	0	228.2	520.6	
	(2)	512.6	0	0	45.4		
	(4)	17.8	0	0	0		
	(200)	10.9	0	0	0		
Total des modifications		541.3	292.4	0	273.6	1107.3	11

II.B Matrice des modifications dans la catégorie (Zone de culture) entre 1995 et 2006

Catégories		Zones de cultures			Total 2006	%
		(6)	(8)	(9)		
Zones de cultures	(6)	0	22.7	0	22.7	
	(8)	0	0	243		
	(9)	0	2066.41	0		
Total des modifications		0	2089.1	243	2332.1	23.3

II.C Matrice des modifications dans la catégorie (Zones nues) entre 1995 et 2006

Land-use Category		Zones nues					Total 2006	%
		(11)	(12)	(13)	(14)	(100)		
Zones nues	(11)	0	0	0	0	0	0	
	(12)	0	0	0	0	0		
	(13)	0	0	0	0	0		
	(14)	0	0	22.7	0	0		
	(100)	0	0	0	0	0		
Total des modifications		0	0	22.72	0	0	22.72	0.23

II.D Matrice des modifications dans la catégorie (Surface En eau) entre 1995 et 2006

Land-use Category		Surface en eau		Total 2006	%
		(3)	(5)		
Surface en eau	(3)	0	0.99	0	
	(5)	0	0		
Total des modifications		0	0.99	0.99	0.01

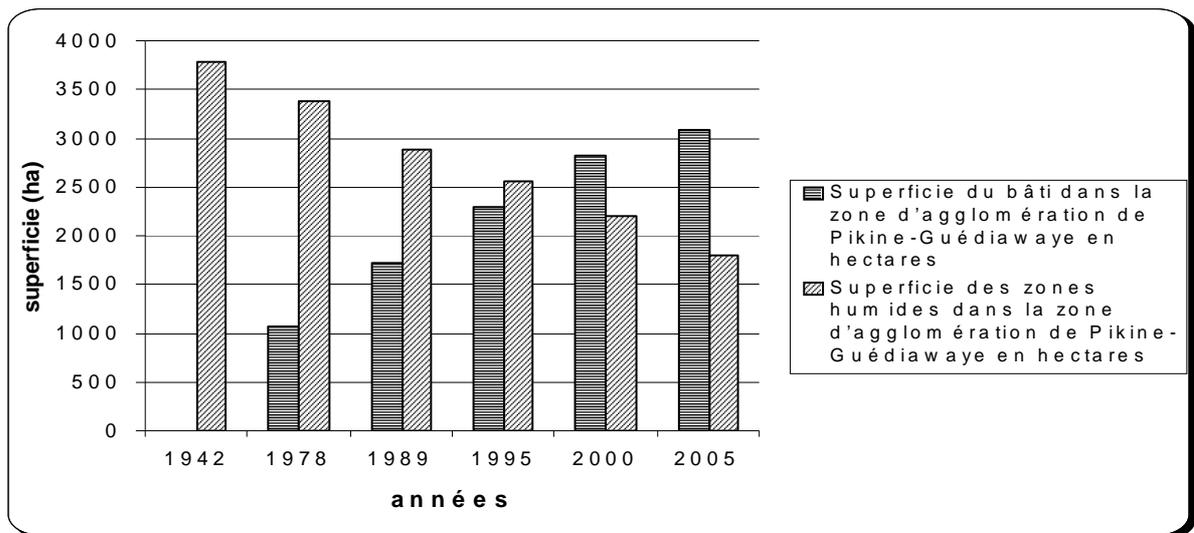


Fig.1 Evolution des surfaces du bâti et des zones humides dans le bassin versant de Thiarye

En conclusion on peut retenir que la dynamique urbaine notamment l'évolution du bâti dense dans les bassins versants urbains contribue pour beaucoup à la modification du fonctionnement hydrologique. L'évolution du bâti peut occasionner un dysfonctionnement du système de drainage, favorisant ainsi des nappes d'inondation dans les zones d'habitat et infrastructures routières durant les événements pluvieux. Cette situation peut également être aggravée par le défaut d'assainissement d'eaux pluviales et usées dans les zones d'agglomération.

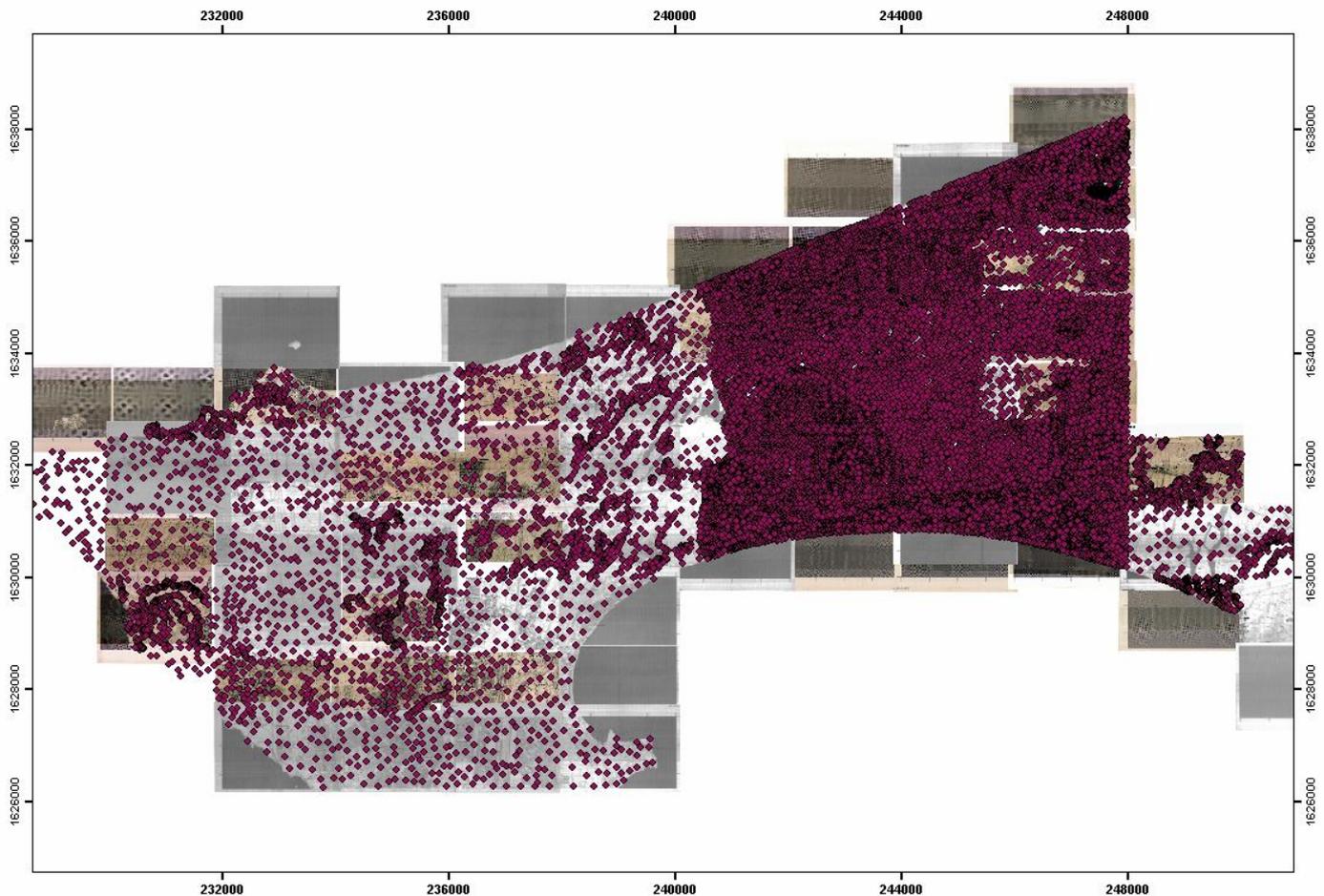
La compréhension du fonctionnement hydrologique dans les bassins versants urbains nécessite une caractérisation physique, morphologique de la zone. Ceci justifiera l'analyse des facteurs topographiques et l'élaboration d'un **Modèle Numérique de Terrain** dans le cadre de cette étude.

II. Elaboration d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) :

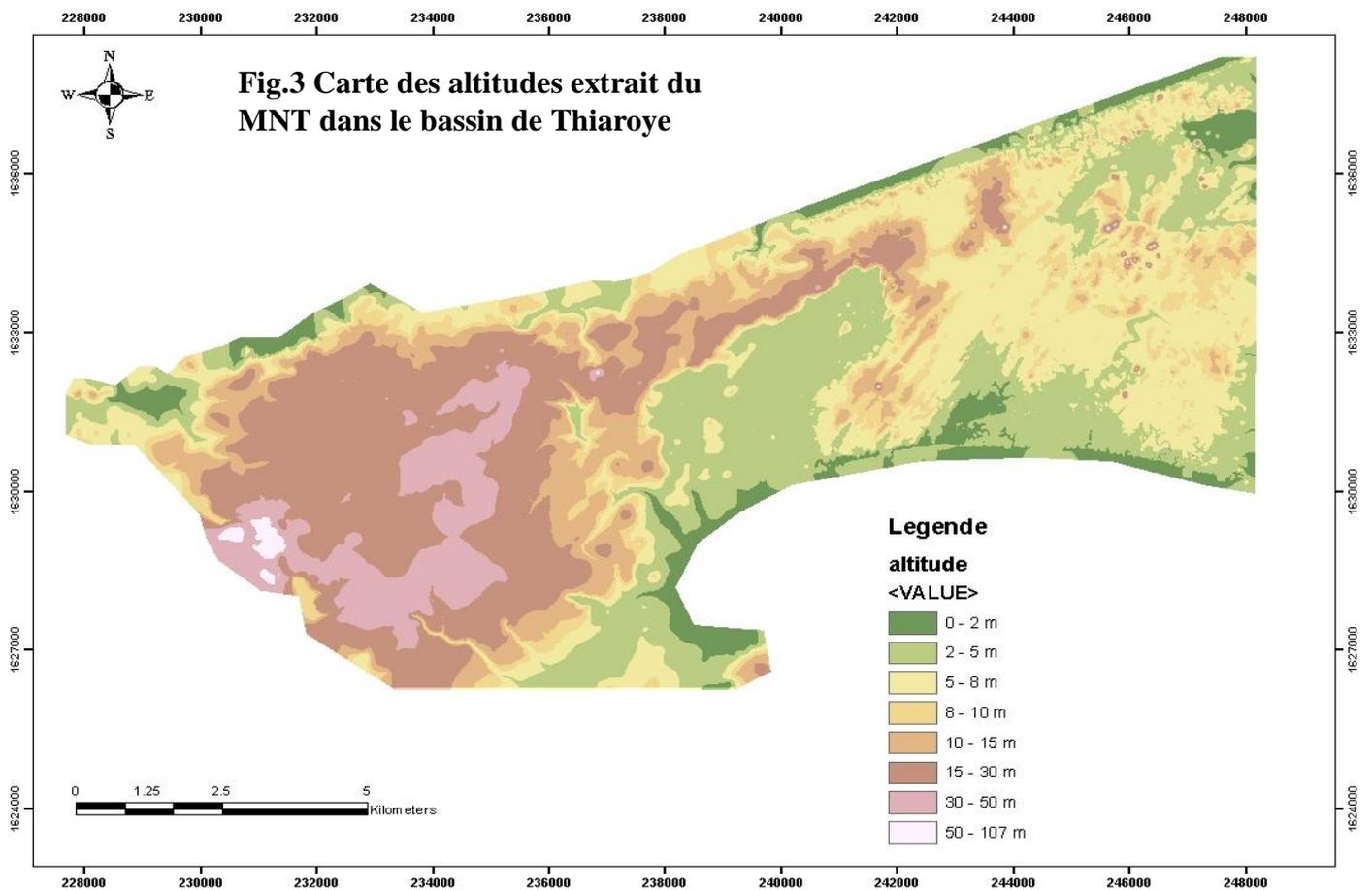
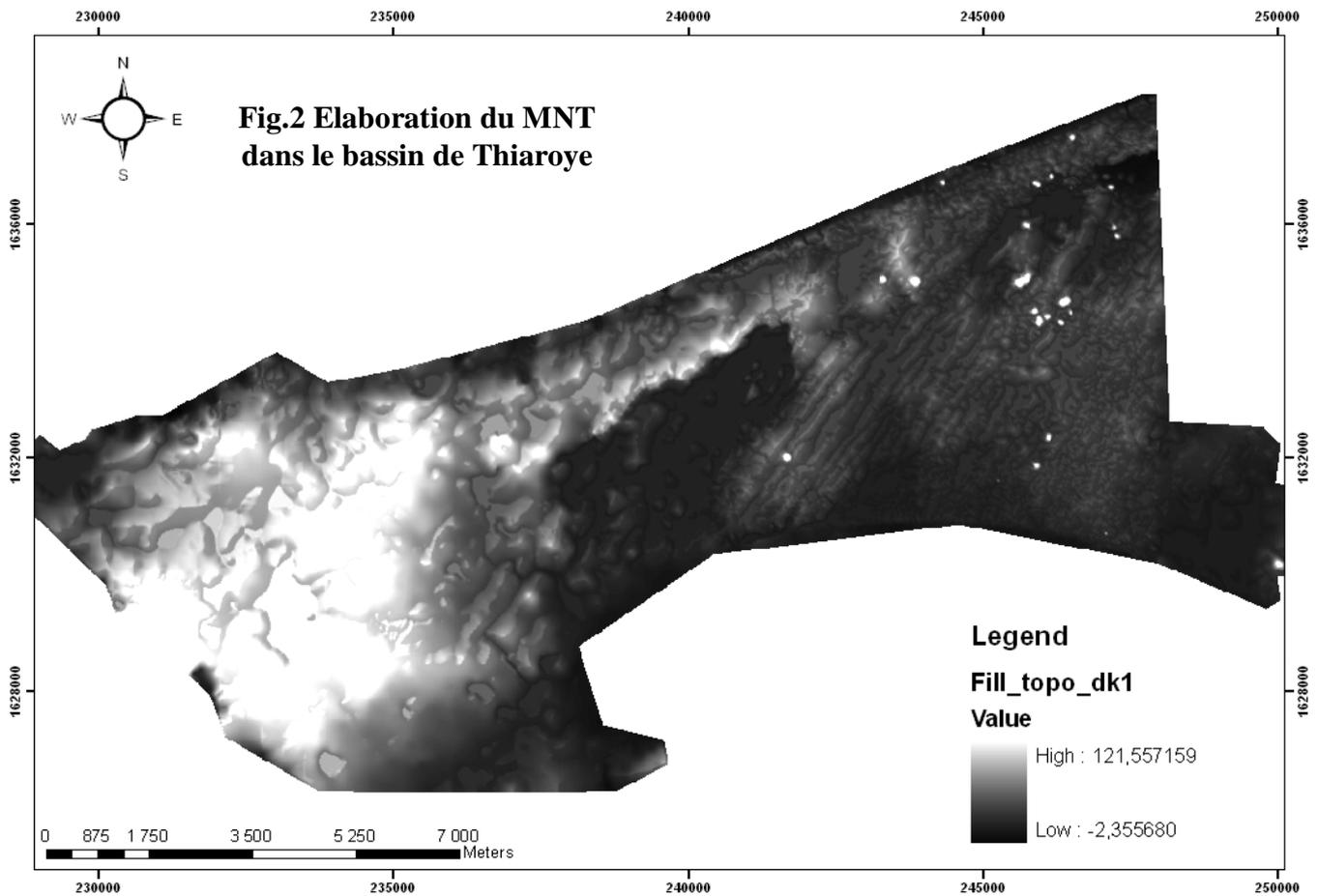
Pour mieux comprendre l'origine des inondations, l'étude a nécessité une connaissance plus approfondie du milieu physique. Ainsi l'analyse des données topographiques, géomorphologiques et hydrographiques a permis d'identifier les bassins versants en zone urbaine, leurs comportements hydrologiques et le dysfonctionnement engendré par le front bâti. Un MNT a été réalisé à partir d'un semis de points recueillis sur des cartes à différentes échelles. La plus grande couverture de notre zone d'étude (notamment les zones d'intérêt) sont obtenues à partir de mosaïques de feuilles topographiques au 2000^e. Les feuilles ont été scannées puis géo référencées et environ 25 600 points cotés très variables ont pu être extraits (**Planche III**). Ces points ont fait l'objet de contrôle avec 22 autres points cotés par GPS différentiel à haute précision obtenus sur le terrain lors d'une mission effectuée conjointement avec les services de la **Direction des Travaux**

Géographiques et Cartographiques de Dakar. Au-delà du bassin versant de Thiaroye, on a pu extraire un semis de points à partir des feuilles topographiques au 1000^e, 5000^e et au 50000^e. Le MNT réalisé par technique d'extrapolation des points (Topo to Raster) avec le logiciel Arc GIS 9.2 est validé et contrôlé par l'exploitation de photos aériennes anciennes de 1942, 1966, 1978 (50000^e) permettant une cartographie du réseau hydrographique, des bassins versants, des pentes et des axes de drainage. Un MNT du SRTM couvrant toute la zone d'étude et dérivé des images radar à 90m de résolution a été réalisé.

PLANCHE III : Semis de points extrait des feuilles topographiques au 2000^e

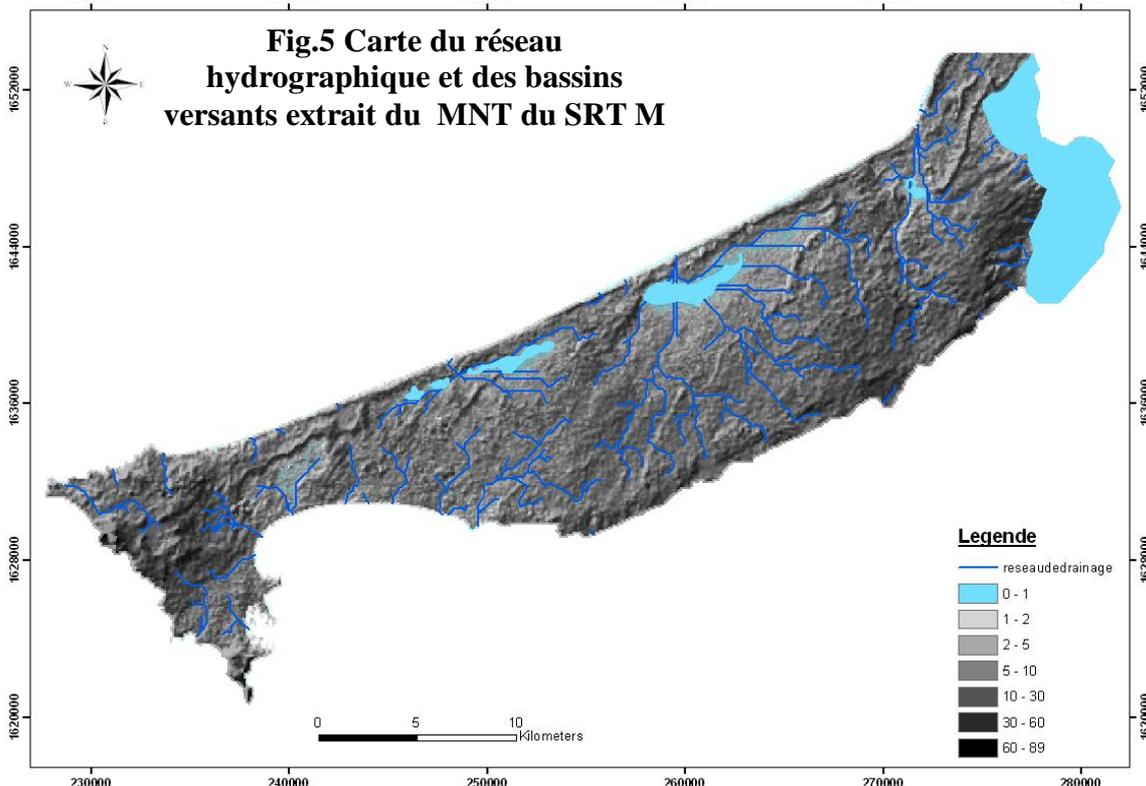
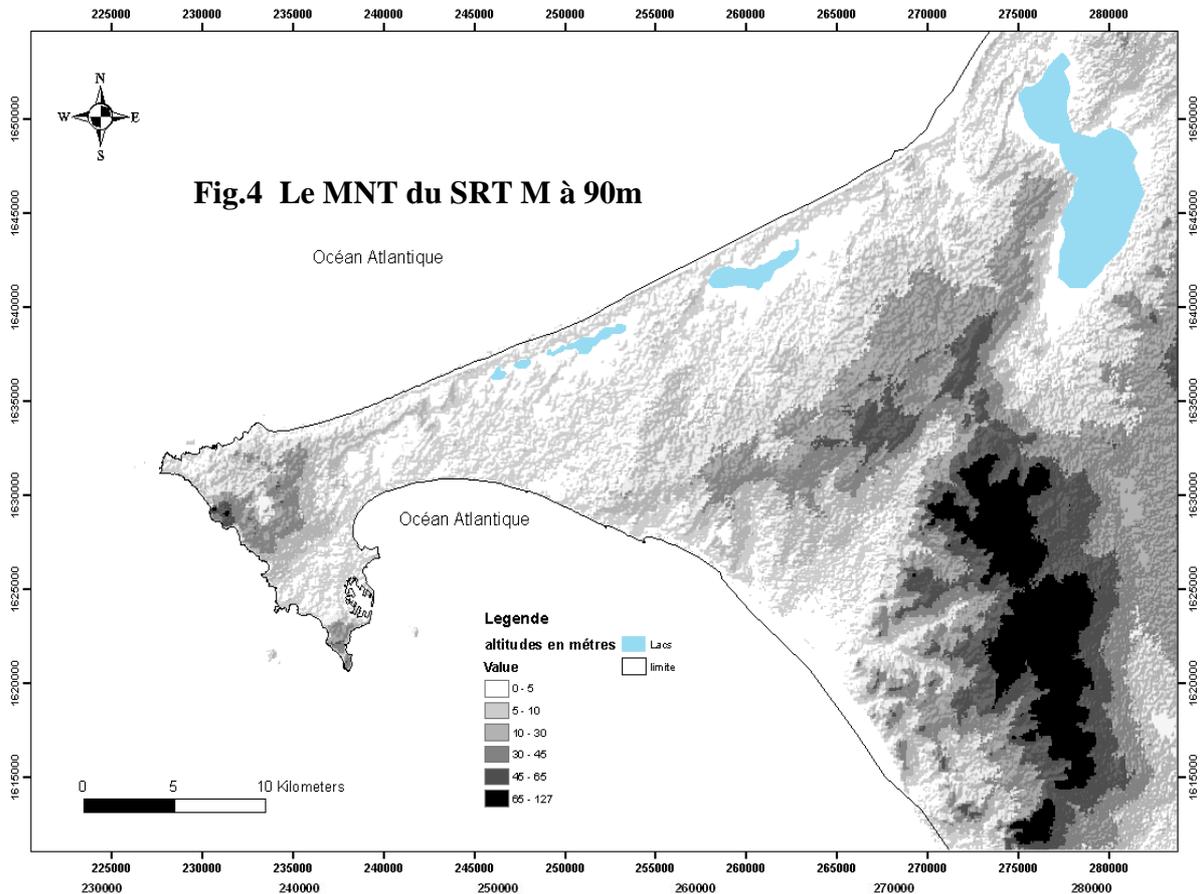


Toutefois on note une certaine incohérence dans les premiers résultats obtenus (**Fig.2& 3**), ceci peut être lié à la technique d'extrapolation utilisée dans la spatialisation des cotes topographiques mais également au défaut d'information dans certaines zones, ce qui augmente les erreurs d'estimation, d'où la nécessité de recalage du modèle sur les résultats obtenus avec d'autres méthodes.



Le MNT du SRTM réalisé à 90m de résolution et couvrant toute la zone montre des variations notables d'altitudes (**Fig.4**). Dans le bassin versant de Thiaroye les résultats donnent les mêmes tendances même si on a des échelles très différentes.

Nous notons également que le réseau hydrographique et les bassins versants extraits du SRTM (Fig.5) sont calés sur les résultats de cartographie obtenus à partir des photos aériennes et images de 1972, 1966 et 78.



Le SIG inondation Dakar qui sera réalisé rendra possible l'interface et le croisement de ces premières couches d'informations obtenues concernant le *MNT*, les cartes de *référence d'occupation du sol (bâti)* et du *réseau hydrographique* ancien (1942). Cette Base de Donnée va intégrer d'autres informations et permettra d'évaluer et de cartographier avec plus de précision les sites susceptibles d'être touchés, les sites inondables et le risque hydrologique sur le bâti et les infrastructures de transport.

L'extension des zones d'inondation et leur évolution dans le temps peut également être en rapport avec l'origine du phénomène qui peut être hydrogéologique avec le niveau statique affleurant ou du à une nappe d'eau de pluie stagnante par défaut de drainage d'où la nécessité d'une cartographie des zones affectées et de suivre leur évolution.

III. Cartographie et repérage des zones inondées:

Contrairement au milieu rural, la complexité du mode d'occupation du sol rend difficile la visibilité des inondations en milieu urbain. L'interprétation des images spot à très haute résolution (THR) (**Planche IV**) pour la cartographie des surfaces inondées permet une première évaluation de l'étendue des surfaces affectées et leur localisation. Pour suivre l'évolution des surfaces inondées la base de données Spot-5 acquise lors de la première année a été complétée par les images landsat-5 et Landsat-7 prises respectivement en septembre 1989 et Octobre 2000. L'exploitation de l'imagerie Radar en cours (Voir BD radar SAR et ERS) et une combinaison avec l'imagerie optique peut permettre un meilleur repérage des zones inondées.

L'interprétation multi-date d'images optiques donne les premiers résultats de cartographie sur les inondations récurrentes (1989, 1995, 2000, 2005).

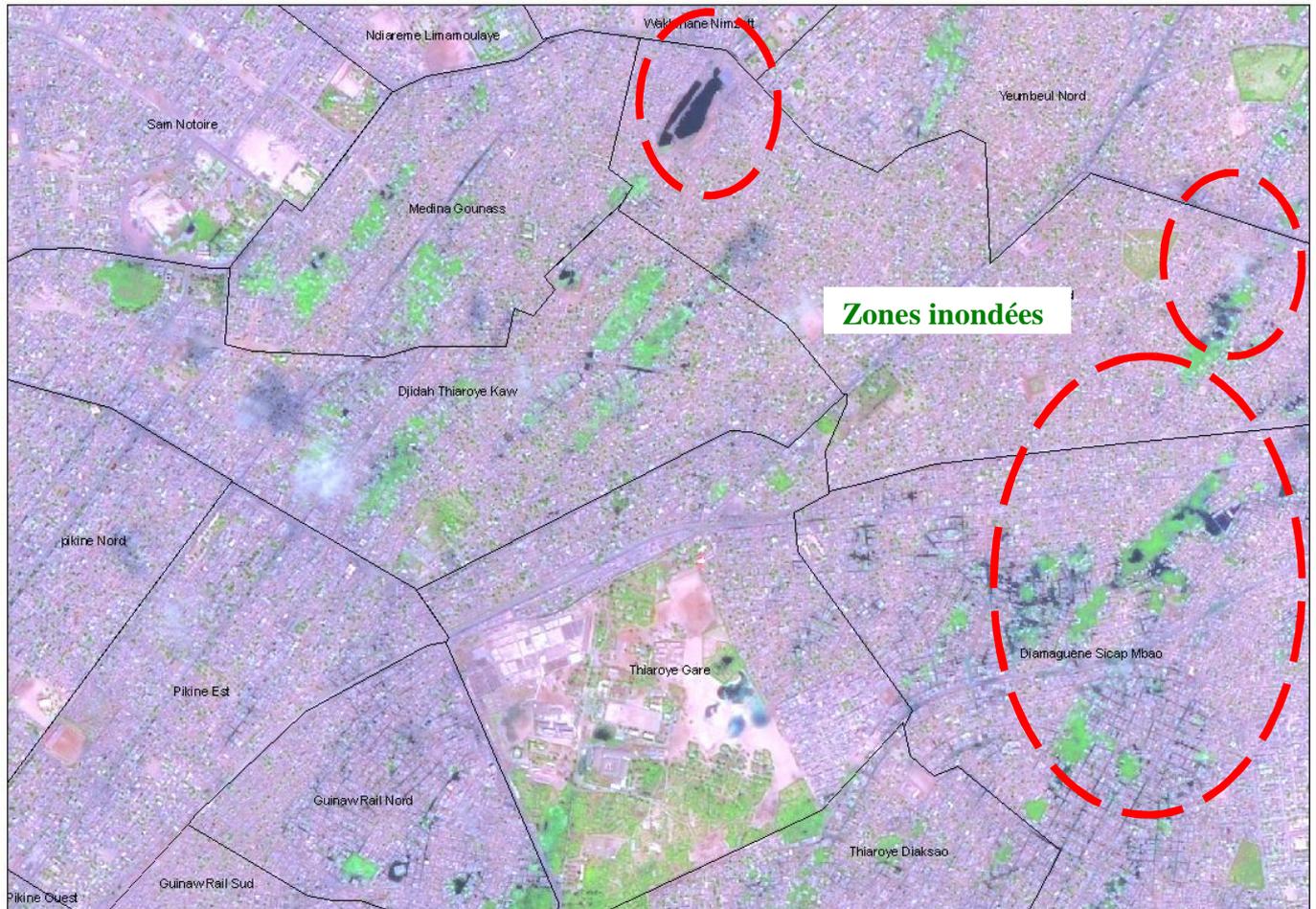


PLANCHE IV

**A: Extrait Image Spot -5
Multispectrale Couleur du
23/10/2006 fusionnée avec sa
panchromatique N&B.
Résolution 2.5m.**

**Image acquise hors saison des
pluies mais avec les reliques
d'inondation de Septembre 2005**

**Zone d'agglomération :
Thiaroye/mer, Guinaw Rail,
Thiaroye Diack sao**

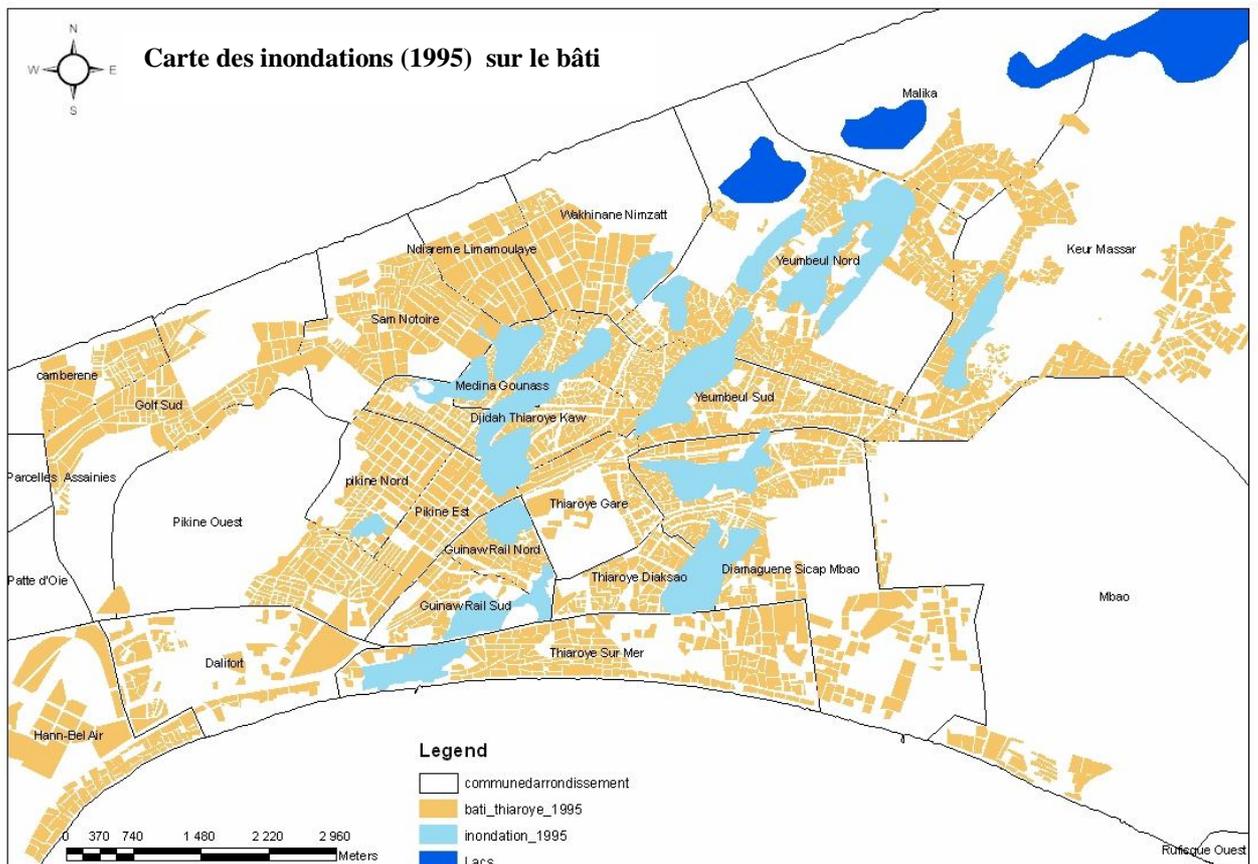
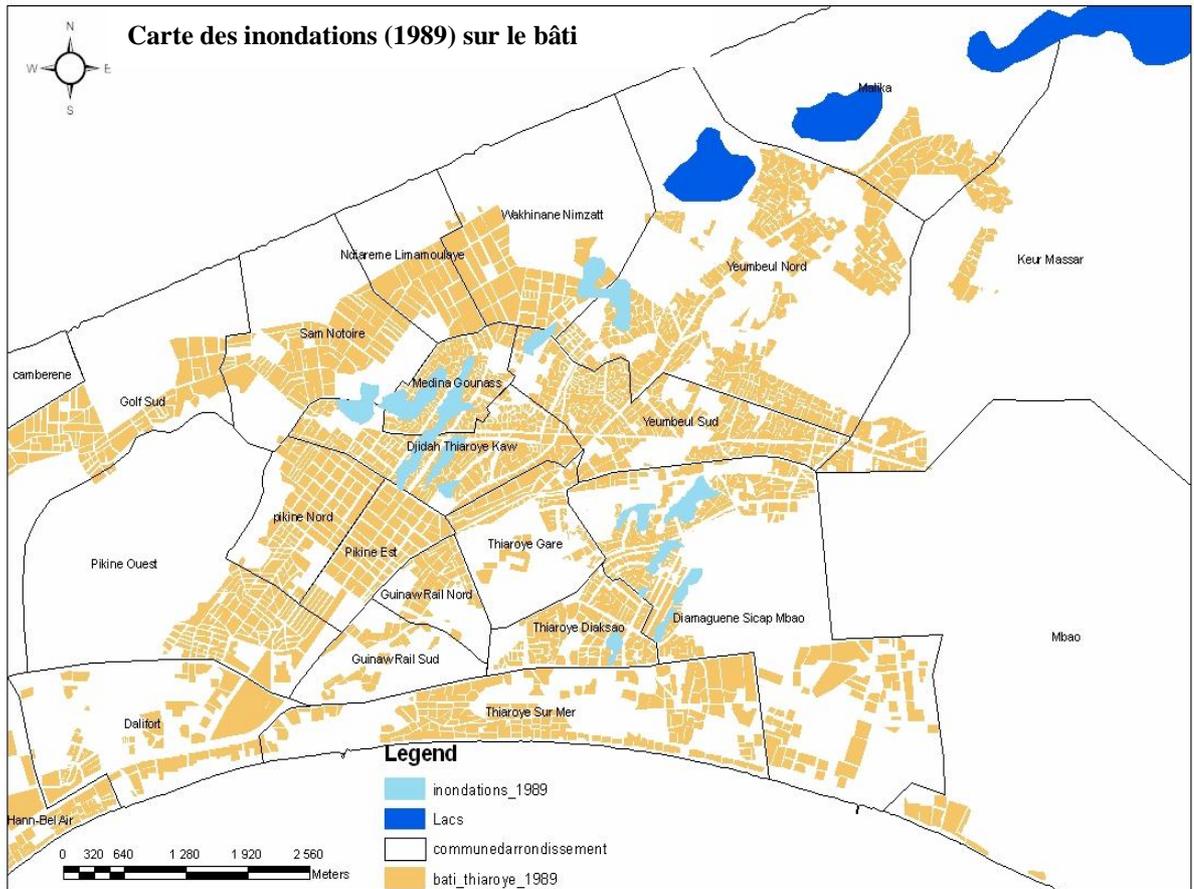


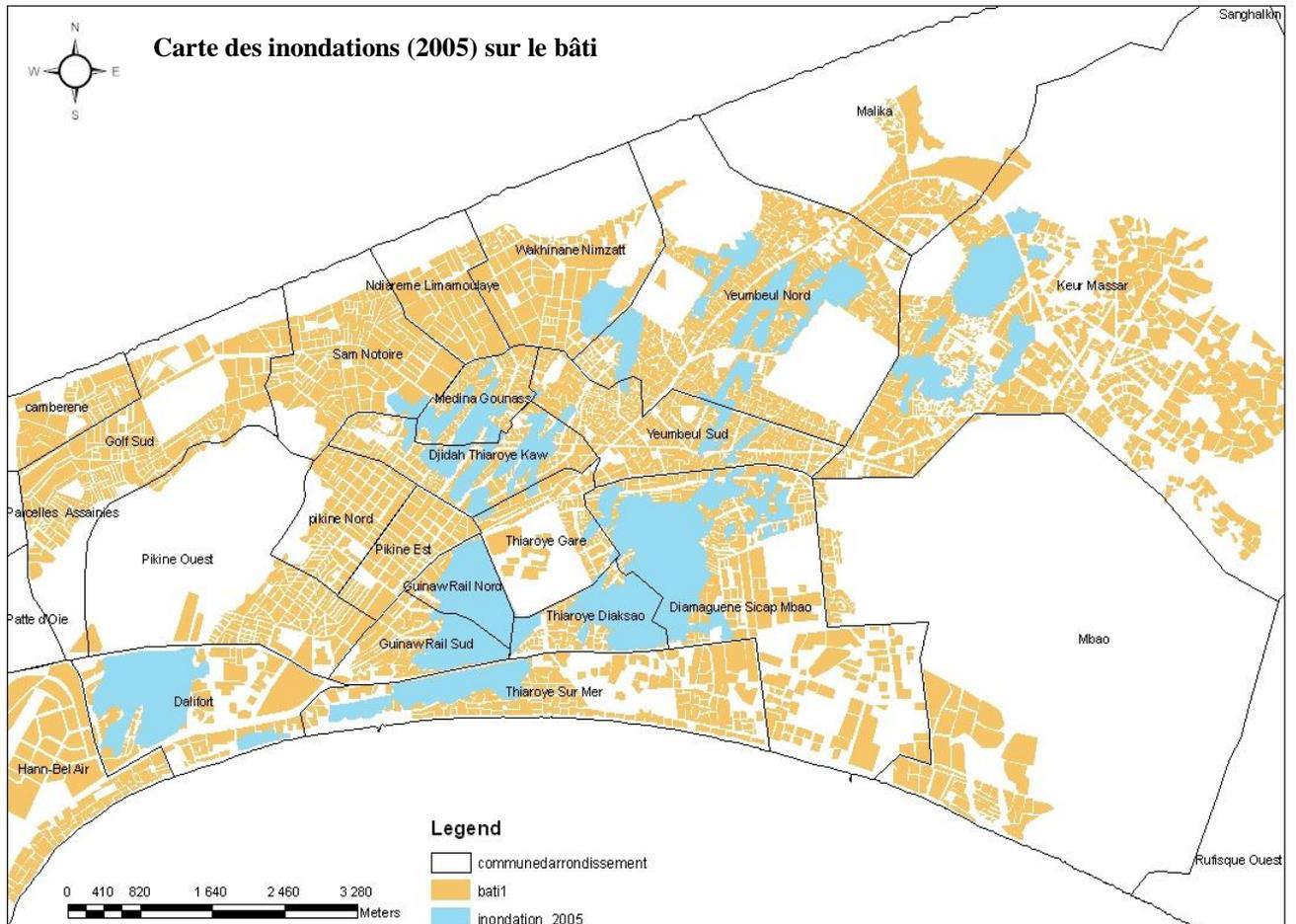
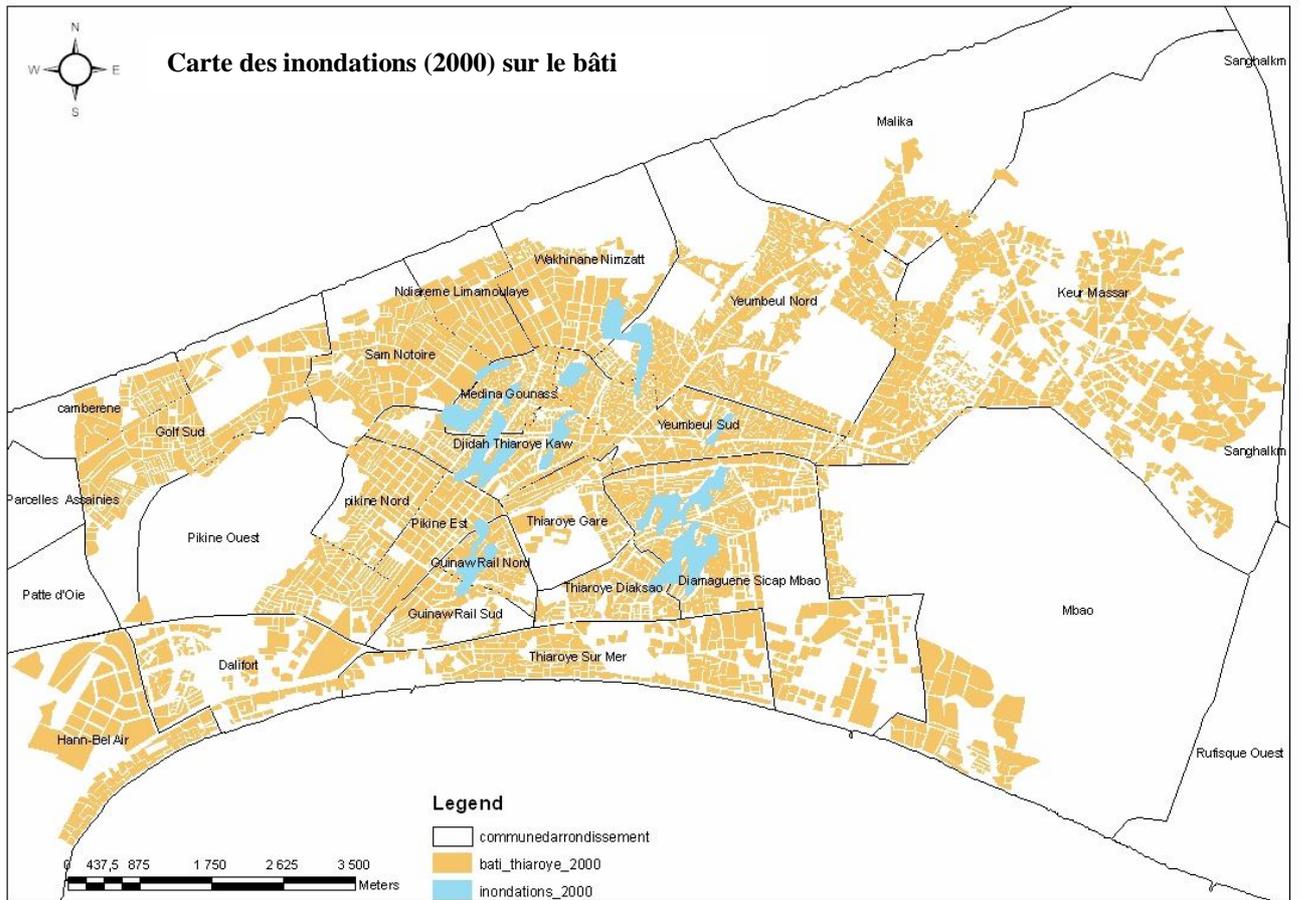
B: Extrait Image Spot -5 Multispectrale Couleur du 07/09/2005 Fusionnée avec sa Panchromatique N&B du 23/10/2006 Résolution (2.5m).

Image acquise en pleine saison des pluies, pendant l'inondation de Septembre 2005

Zone d'agglomération : Communes d'arrondissement Djiddah Thiaroye Kao, Diamaguène Sicap Mbao, Yeumbeul Nord, Médina Gounass.

PLANCHE V : Résultats de cartographie et repérage des zones inondées dans le bâti et infrastructures routières



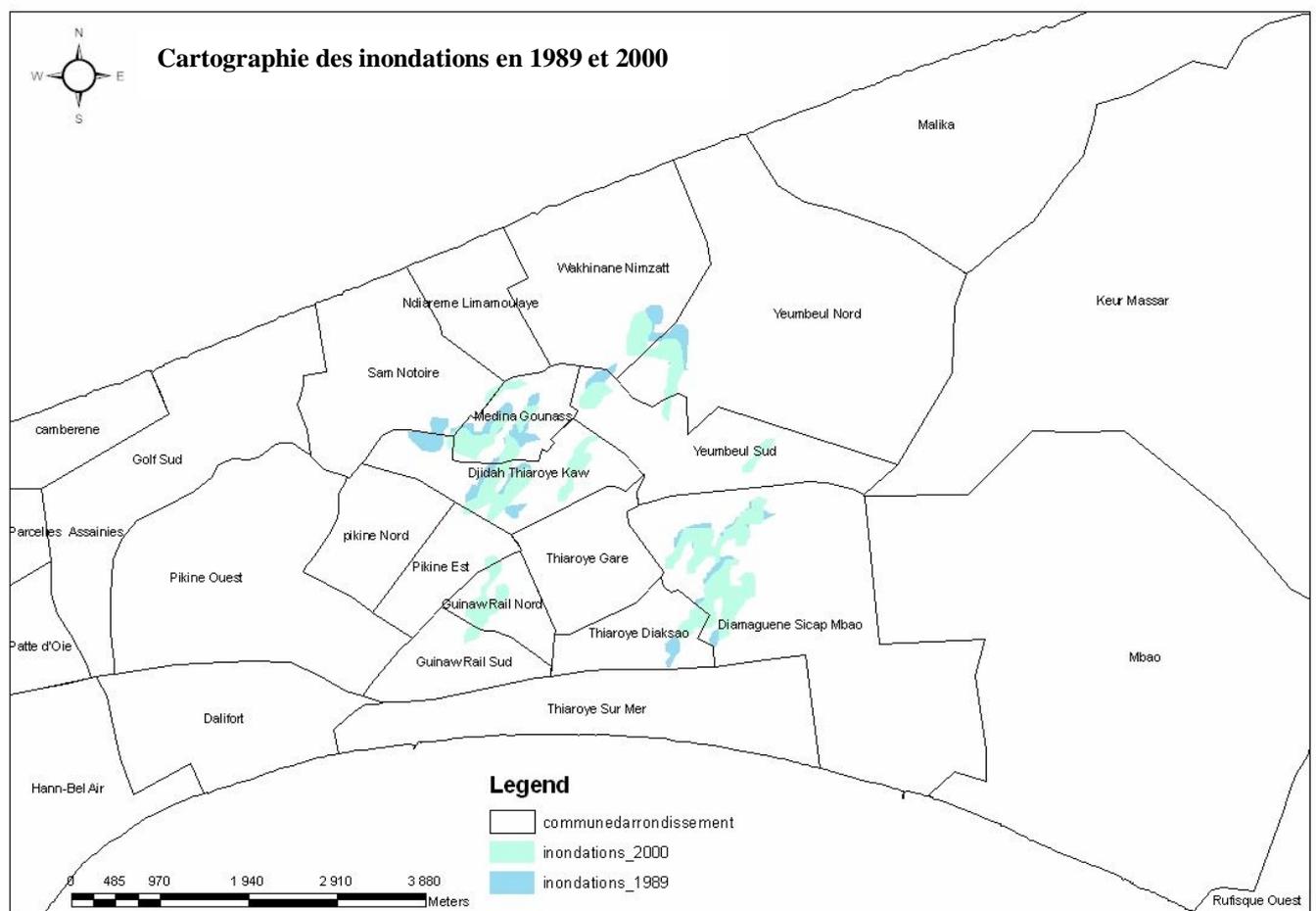


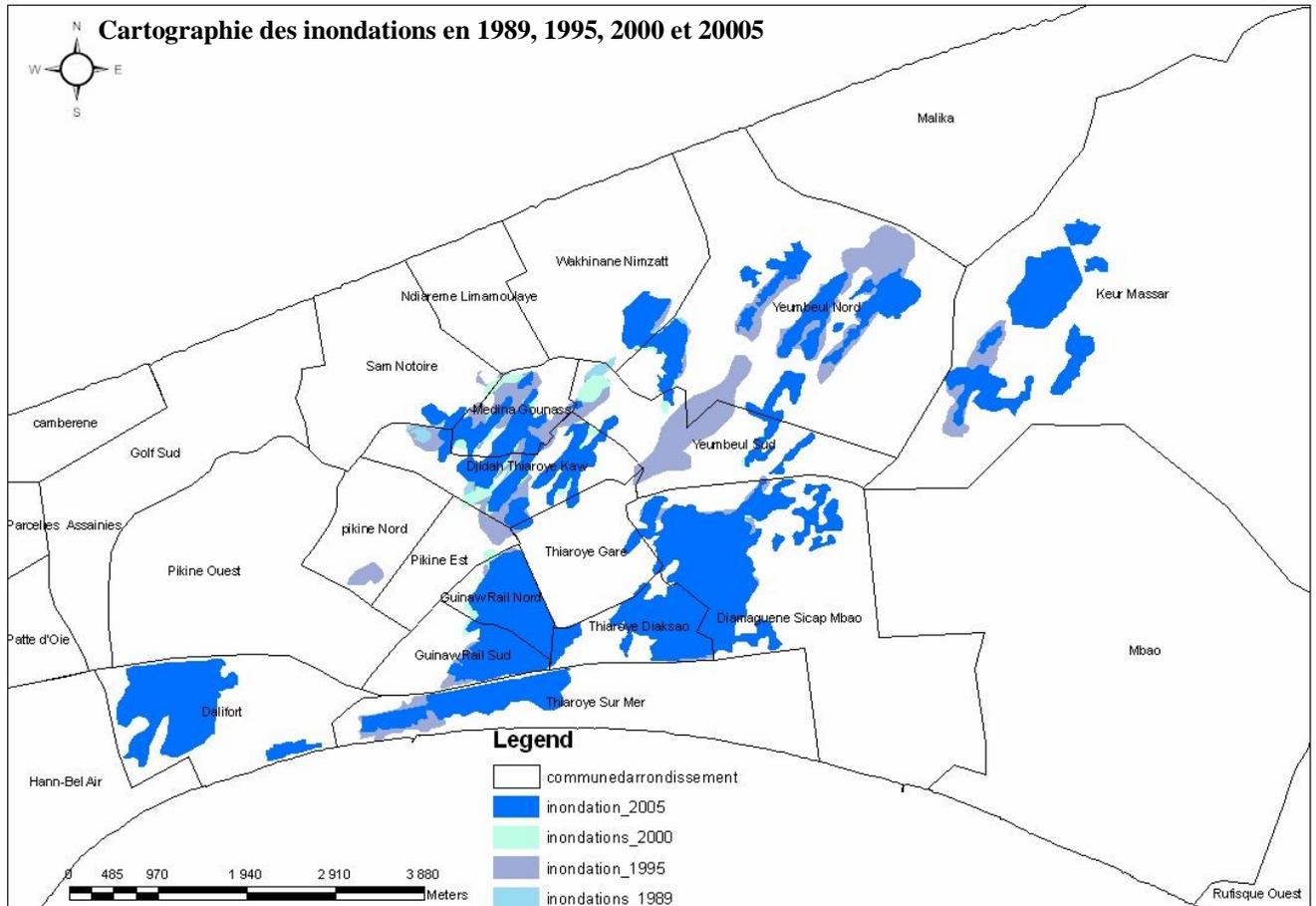
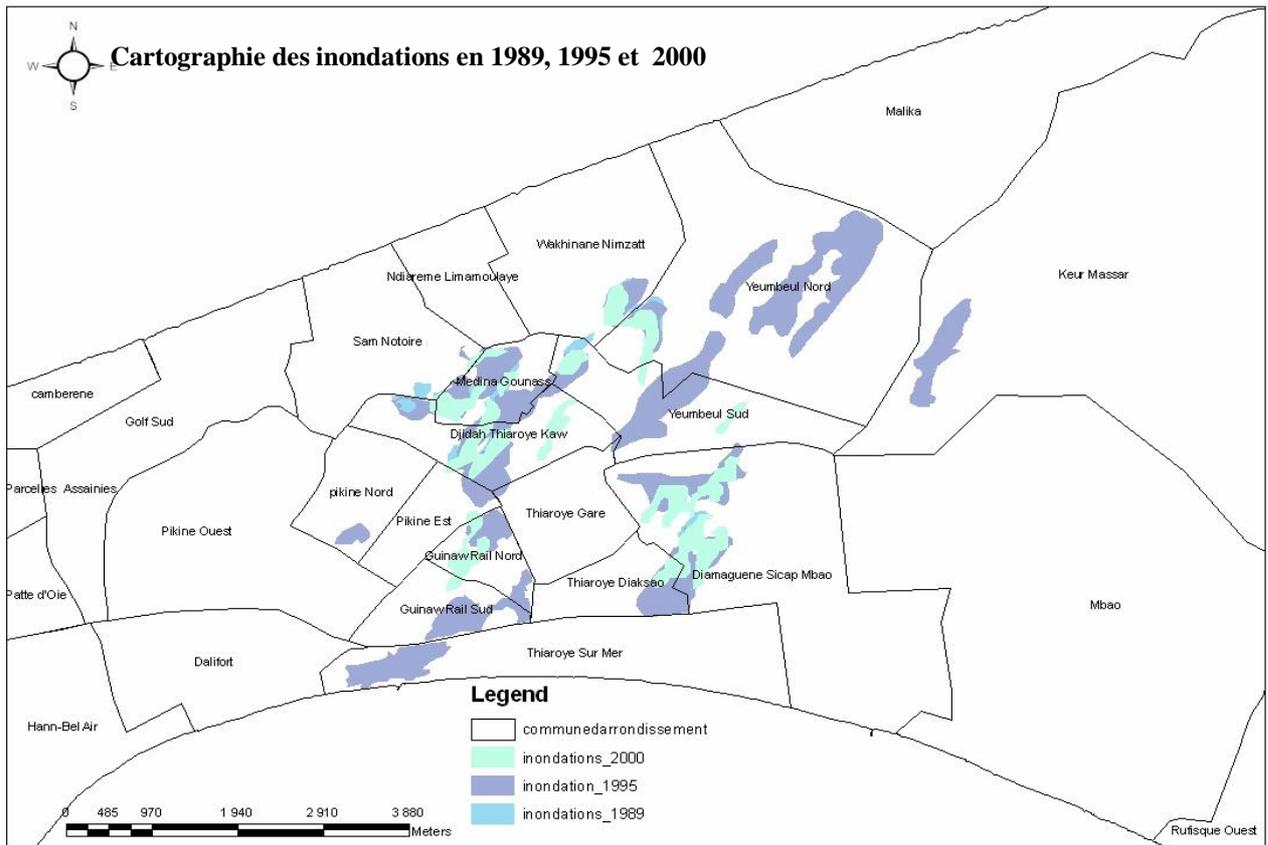
Le potentiel de l'imagerie à très haute résolution (THR) a permis de repérer et cartographier les zones inondées localisées dans l'agglomération urbaine de Dakar, à l'échelle des communes d'arrondissement, des quartiers voir maisons, de percevoir l'ampleur et l'étendue des phénomènes (**Planche V**).

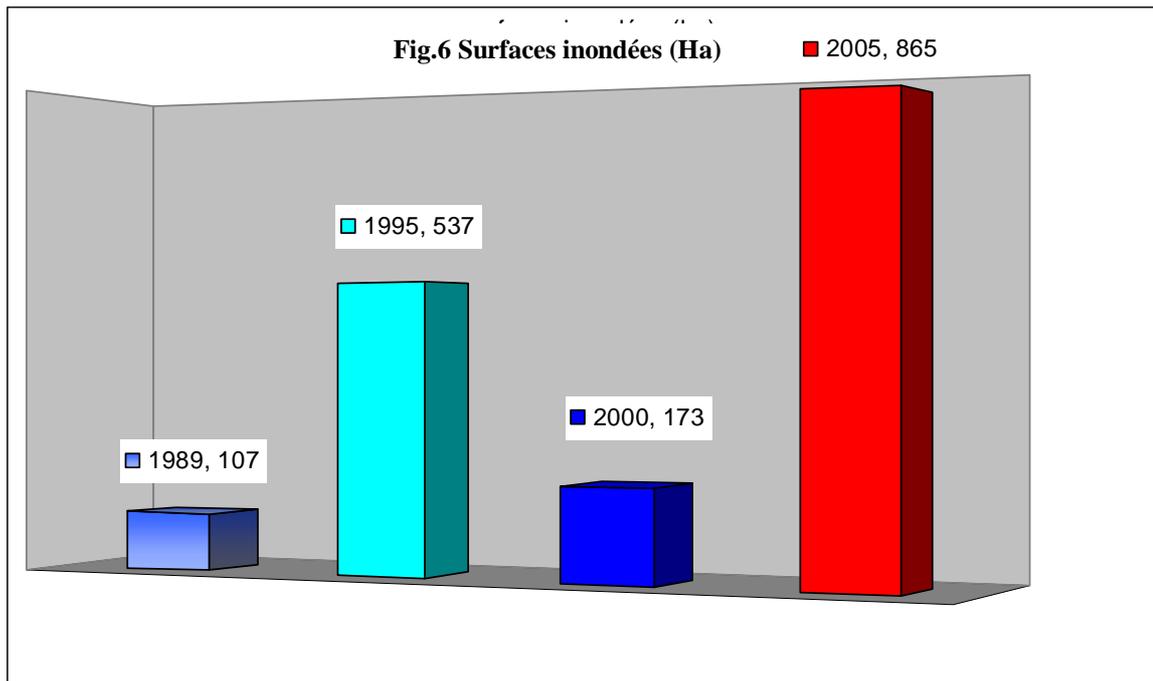
Le croisement des vecteurs issus de l'interprétation des images (1989, 1995, 2000, 2005) a permis de suivre l'évolution des surfaces affectées dans le temps et dans l'espace et de voir la récurrence des inondations dans certaines zones (**Planche VI**). Les résultats statistiques (**Fig.6**) montrent qu'en 2005 les surfaces affectées sont plus importantes avec l'apparition d'inondation à caractère exceptionnel dans certaines zones à Dalifort et Keur Massar pouvant être du à un dysfonctionnement du système de drainage durant cette année particulièrement pluvieuse.

Cependant on note des zones très vulnérables où les inondations sont récurrentes (1989, 1995, 2000 et 2005) comme Médina Gounass, Djedah Thiaroye Kao, Wakhinan Nimzat, Guinaw Rail, Thiaroye Diacksao et Diamaguène Sicap Mbao.

PLANCHE VI : Repérage des zones inondées et évolution des surfaces affectées







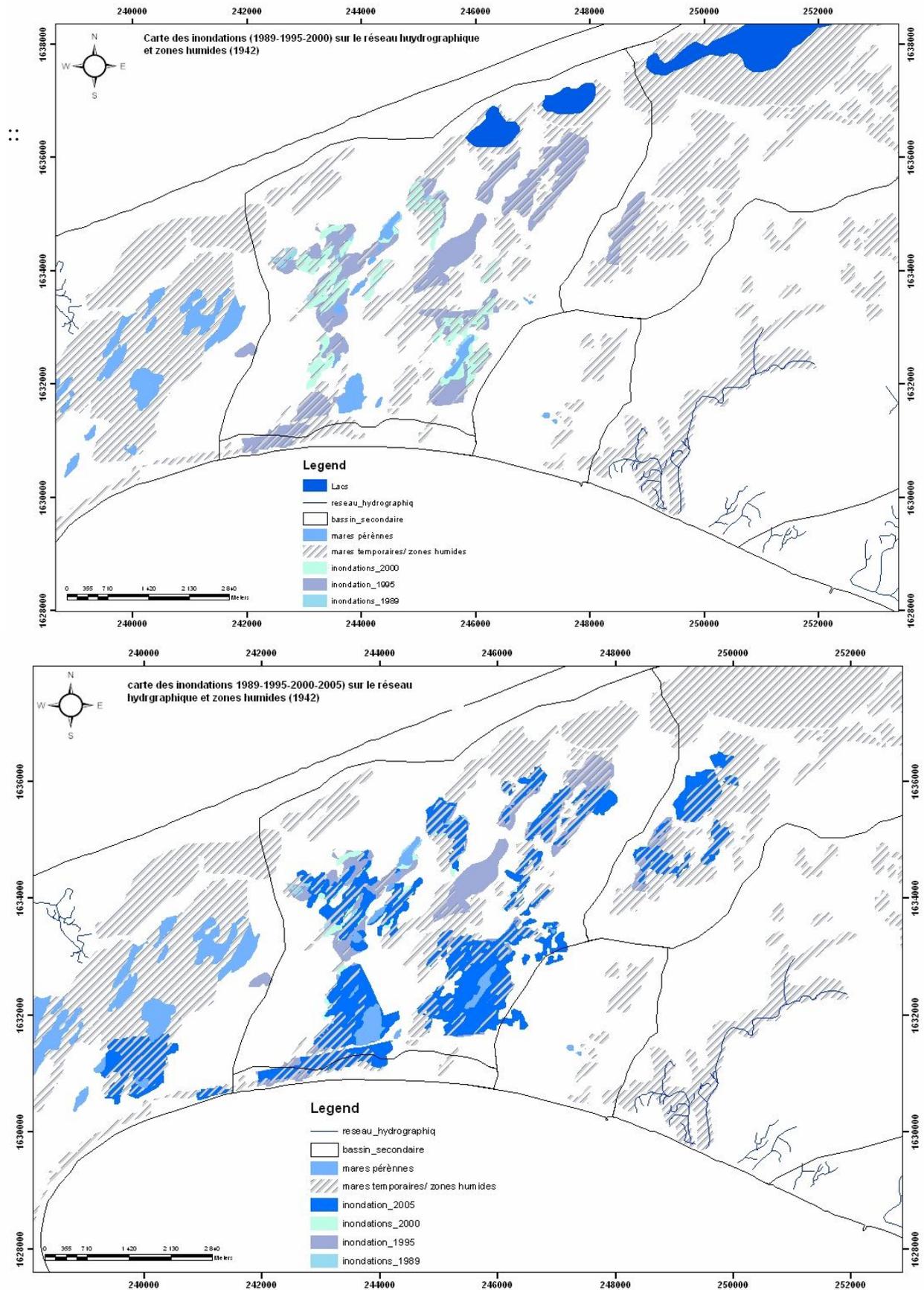
Les résultats de la cartographie montrent que les zones d'habitat affectées par les inondations en 1989, 1995, 2000 et 2005 recourent parfaitement les zones humides et bassins versants cartographiés à partir des photos anciennes de 1942, 1966 et 1978 (**Planche VII**).

Ce qui permet de conclure que les zones de bas fond qui étaient humides sont aujourd'hui aménagées en zone d'habitat après leur assèchement durant les années de sécheresse.

Ainsi par le croisement de données intégrées dans la Base de Données SIG on pu cartographier et évaluer avec plus de précision les sites inondables et le risque hydrologique sur le bâti et les infrastructures de transport.

Les bas fonds inondés sont des zones inter dunaires, de direction N-S (Hébrard, 66).

PLANCHE VII : Cartographie des surfaces inondées en rapport avec les zones humides et le réseau hydrographique ancien



Les résultats sur l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol et l'impact sur les inondations ont fait l'objet d'une communication lors d'un Workshop :

« **International Workshop «L'outil spatial pour la gestion des catastrophes et des situations d'urgence en Afrique : Aspects Techniques, Organisationnels et Juridiques»**
10 – 12 Novembre 2008 Rabat / Maroc ».

Le mémoire de Master soutenu au Département de Géologie le **01.08.2009** par Mlle *Ndèye Magatte Dieng* s'inscrit dans ce thème retenu comme axe de recherche dans le cadre du projet.

IV. Elaboration d'un Système d'Information Géographique:

La réalisation d'un SIG inondation Dakar dans le cadre de ce projet va permettre une synthèse de toutes les actions menées dans les différents thèmes pour mieux comprendre l'origine des inondations urbaines dans notre zone d'étude. Les premiers éléments du SIG sont mis au point avec les résultats de Télédétection et de cartographie (**chapitres I, II, III**). Le SIG prendra en compte les résultats des études hydrogéologiques réalisées dans le cadre de ce projet, il offrira une interface de consultation et de croisement des données. Le **Système d'Information Géographique** réalisé sera dynamique et non statique avec une possibilité de mise à jour des différentes couches d'informations considérées.

L'interprétation des images et les résultats cartographiques permet de voir l'étendue des inondations, de localiser les zones qui sont affectées et celles inondables, ceci peut aider à la prise de décision au plus haut niveau et faire un meilleur usage des ressources humaines et matérielles.

L'intérêt du SIG c'est de mieux comprendre l'origine des inondations, d'évaluer avec plus de précision les risques pour chaque zone et de servir de dispositif d'alerte précoce et de réaction rapide.

Dans les derniers chapitres, après l'évaluation du contexte hydrogéologique toutes les couches d'informations composantes du SIG Inondation Dakar seront synthétisées.

HYDROGEOLOGIE

Le contexte hydrogéologique de la Presqu'île du Cap-Vert caractérisé par une nappe affleurante dans certains bas fonds aménagés nécessite une étude particulière pour comprendre les origines des problèmes hydrologiques cruciaux lors des événements pluvieux. Donc les solutions durables aux problèmes d'inondations urbaines passent inévitablement par une bonne compréhension du fonctionnement hydrogéologique notamment le comportement hydrodynamique de la nappe de faible profondeur dans un environnement urbain.

Dans l'objectif de comprendre l'origine et les causes des inondations urbaines à Dakar, l'étude a réactualisé le modèle hydrodynamique qui était déjà conçu dans les travaux antérieurs. L'élaboration de stratégies de gestion durable des ressources en eaux souterraines dans la région a permis d'intégrer une étude qualitative notamment le mécanisme et les sources de pollution à l'évaluation du comportement hydrodynamique dans les bassins versants urbains.

I. Comportement hydrodynamique dans les bas fonds

Les actions suivantes ont été menées dans ce cadre:

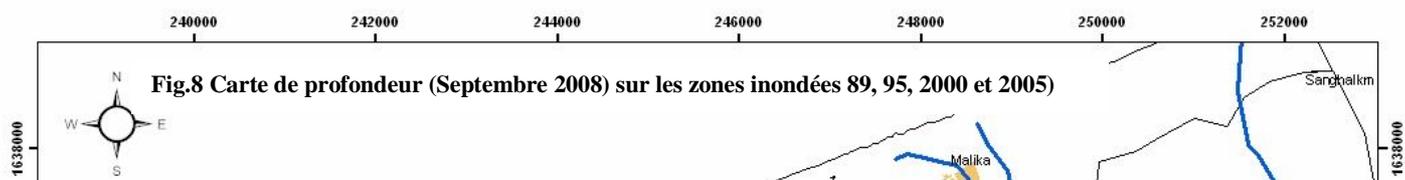
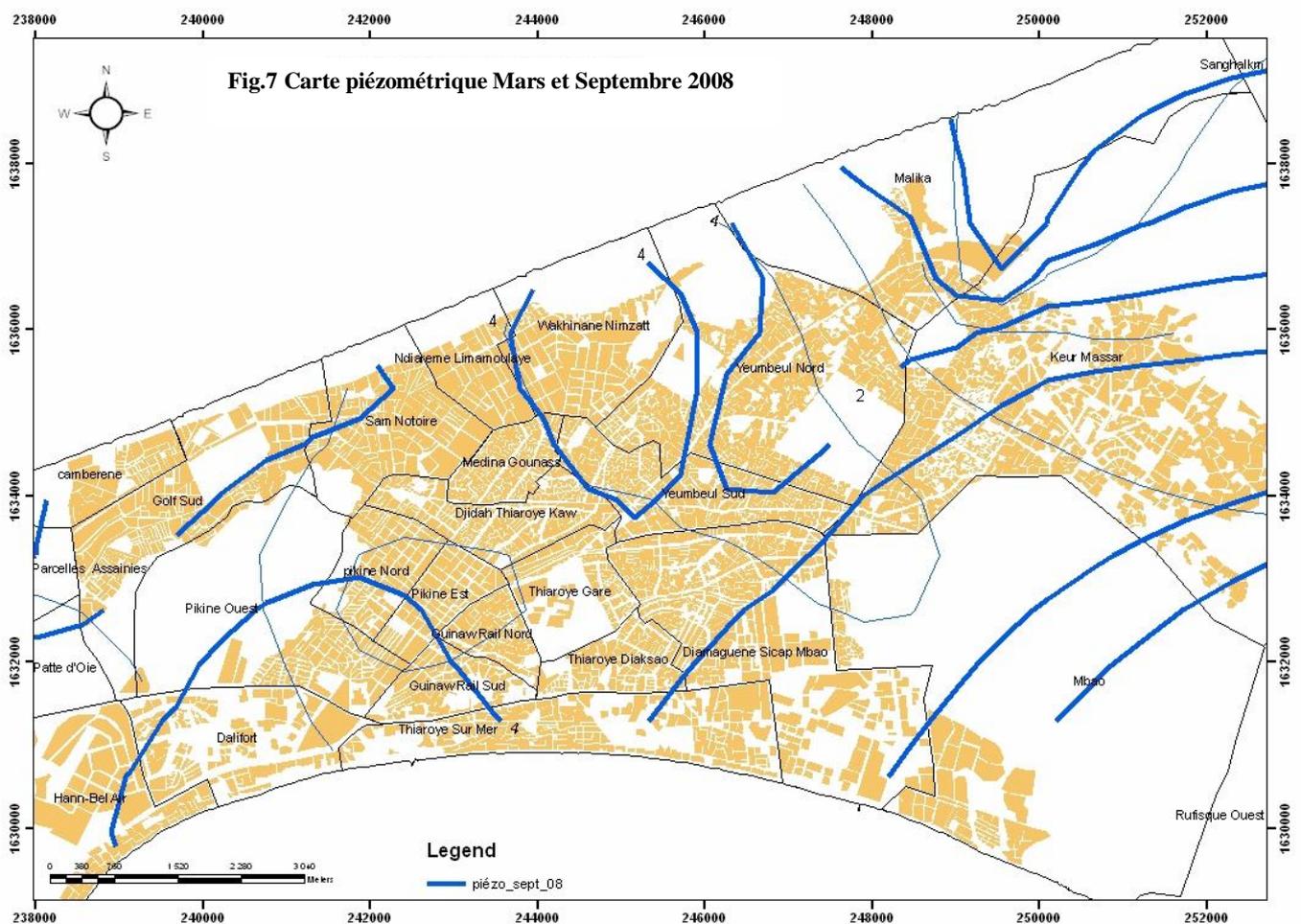
- Réactualisation des données de base du système aquifère (toit, mur, épaisseur, paramètres hydrodynamique, conditions aux limites).
- Choix d'une piézométrie de référence (1969)
- Apport de la Télédétection et SIG dans la caractérisation des états de surface du système aquifère pour une cartographie des zones de décharge et recharge (Travail dans le cadre d'un Master).
- Evaluation de paramètres contrôlant la recharge comme l'occupation du sol, la topographie avec les données du Modèle Numérique de Terrain MNT sur le bassin versant de Thiaroye, le MNT du SRTM et la carte topographique au 1/50000.
- Etude sur 8 stations pluviométriques en 2008 de la chimie majeure des eaux de pluie, analyse de la dynamique des précipitations et des facteurs climatiques.
- Estimation de la recharge données du modèle (Cissé Faye, 97)
- Estimation de la recharge par la méthode du bilan des chlorures (Exécution de Profils en zone non saturée pour déterminer la concentration moyenne en chlorures dans la zone non saturée)
- Estimation de la recharge par la méthode de fluctuation piézométrique.
- Inventaire des prélèvements sur la nappe par la SONES
- Estimation des prélèvements sur la nappe au niveau des puits villageois et par évaporation.

1. Travail de terrain Interprétation et résultats

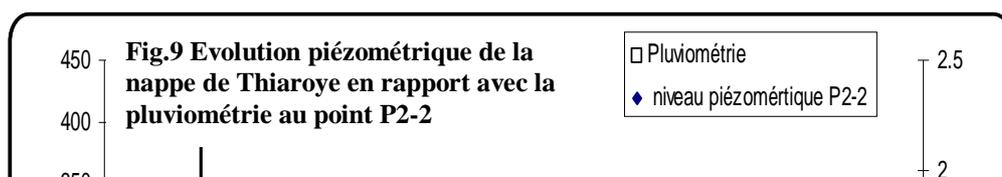
- Deux campagnes de terrain (Février - Mars) et (Septembre - Octobre 2008) ont permis l'échantillonnage et la mesure du niveau statique de la nappe à partir d'un réseau de point. Durant la phase de prolongation du projet on a pu obtenir pour l'année 2009 des données piézométriques complémentaires en période d'étiage (Juin) et

d'hivernage (Octobre). Les cartes piézométriques établies ne donnent pas une bonne précision au niveau des bassins de Mbeubeuss et du lac Retba. Cependant on peut voir un écoulement général suivant la pente du substratum de direction N-E / S, donc vers les lacs et zones dépressionnaires. L'état piézométrique donné à différentes périodes de l'année (Mars et Septembre 2008) (**Fig.7**) montre un décalage de l'isopièze 4m vers la cote mettant en évidence une remontée de la nappe en période d'hivernage (Septembre 2008). Ce qui a été confirmée par l'état piézométrique d'Octobre 2009.

La carte de profondeur de la nappe en septembre 2008 révèle que les zones à inondation récurrente précédemment citées sont enveloppées par la courbe 1m (**Fig.8**). Ces observations nous permettent de conclure que la nappe est très superficielle dans ces zones et que sa remontée peut être maintenue par les faibles débits actuellement prélevés (5000 m³/j). Un arrêt total de pompage envisagé dans les forages d'exploitation pourrait aggraver la situation et engendrer des nappes inondantes. L'origine des inondations dans ces zones est alors très liée au contexte hydrogéologique caractérisé par une nappe à niveau statique affleurant (**Voir les résultats du modèle hydrodynamique simulant l'arrêt des pompages**).



▪ Pour ce qui est de l'évolution piézométrique dans le temps et en rapport avec la pluviométrie de 1987 à 2008, on observe aux piézomètres (P2-2) et (P2-3) des fluctuations saisonnières liées à la saison des pluies; variables selon la zone et d'une année à une autre, ce qui suggère une réalimentation de la nappe par les eaux de pluies(**Fig.9 & 10**).



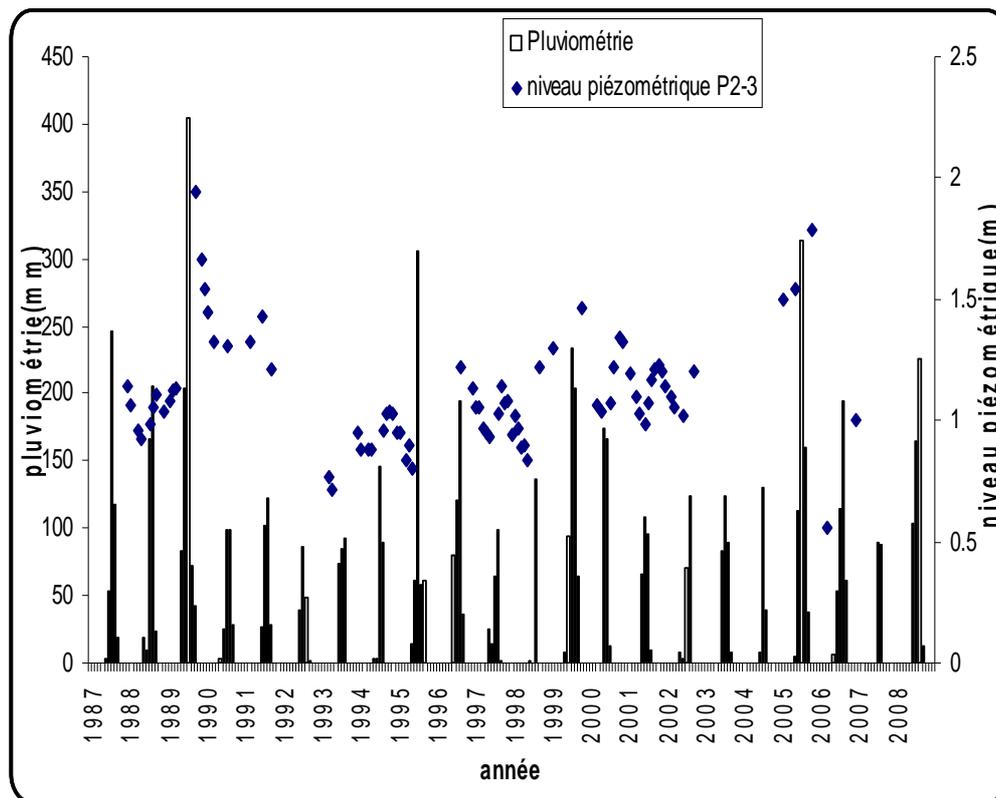


Fig.10 Evolution piézométrique de la nappe de Thiaroye en rapport avec la pluviométrie au point P2-3

- Des sorties de terrain effectuées entre Juin et Octobre 2008 ont permis de

collecter des échantillons d'eau de pluie sur 8 stations météorologiques localisées dans la région entre Dakar Yoff et Kayar. Les analyses chimiques concernant les éléments majeurs et les isotopes stables (**Annexe IV**) ont permis d'avoir les teneurs moyennes en chlorure, en ^{18}O , ^2H et ^3H des eaux de précipitation dans la presqu'île du Cap-Vert pour voir l'effectivité de la recharge et estimer les taux par la méthode du bilan des chlorures.

- Etude de profil en zone non saturée pour estimation de la recharge par la méthode du bilan des chlorures :

Des profils verticaux ont été déjà exécutés dans la zone non saturée jusqu'à la nappe durant la première année. Le matériel utilisé est relativement simple, constitué d'une tarière à main de la compagnie *Eijkelpamp Agrisearch Equipment BV*.

Durant la phase de prolongation du projet quatre nouveaux profils ont été réalisés dans le site de Kounone pour l'étude des concentrations en nitrate autour d'un puits villageois fortement contaminé pour l'analyse granulométrique et certains paramètres du sol.

2. Travail de laboratoire interprétation et résultats

Le travail de laboratoire effectué au département de Géologie lors de la deuxième année du projet a consisté à traiter les échantillons de sol recueillis par :

- Détermination de l'humidité pondérale sur chaque échantillon de sol
- Dosage d'ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) par chromatographie (DIONEX). Les valeurs expérimentales ont été corrigées en fonction de leur teneur en eau.
- Analyses granulométriques qui sont prévues avec le CEREEQ en collaboration avec le département de Géologie.

La variation des teneurs en chlorures en fonction de la profondeur sur le profil réalisé sur le site de Bambilor (**Fig.11**) donne une valeur maximale de 4751 mg/l près de la surface (25-50cm) et une valeur minimale de 75mg/l entre 325 – 350 cm. Hormis un seul pic à 604mg/l observé entre 600 et 625cm on note que les teneurs en chlorures varient de 4751 mg/l à 388 mg/l entre 25 et 125 cm et de 388 mg/l à 75 mg/l entre 125cm et 725 cm correspondant à la zone capillaire.

Le pic observé peut s'expliquer par des variations de textures, des reprises évaporatoires avec les profondeurs assez faibles ou un lessivage de la partie supérieur du sol.

Faut également noter un apport possible en chlorure par les précipitations sèches d'origine marine ou continentale, qui lessivés dans le profil peuvent augmenter la valeur des chlorures dans le sol. D'où dans nos calculs l'intérêt de considérer l'état stationnaire où la valeur des chlorures devient constante. Cette partie est utilisable pour l'estimation de l'infiltration efficace.

On peut estimer la recharge par le bilan des chlorures avec l'équation :

$$I_e = P * \frac{C_p}{C_s}$$

I_e : Recharge annuelle moyenne (mm)

P : Hauteur annuelle moyenne des précipitations

C_p : Concentration moyenne en chlorures des précipitations

C_s : Concentration moyenne en chlorures de l'eau du sol

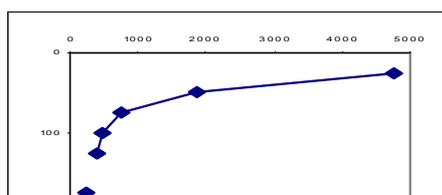


Fig. 11 Profil des chlorures sur le site de Bambilor

A partir de cette équation on doit déterminer tous les paramètres pour estimer la recharge. Pour la détermination du terme C_s , la partie stationnaire du profil (125 – 575cm) est considérée où la moyenne des concentrations de chlorures (388 – 75 mg/l) présente le bilan réel. Le calcul de l’infiltration efficace annuelle par le bilan des chlorures donne une valeur moyenne de 34,93 mm/an sur ces dix dernières années.

Pour comprendre l’évolution de l’humidité du sol, l’humidité pondérale est comparée avec le pourcentage des particules fines **Fig.12 & 13**. Nous retenons les observations suivantes :

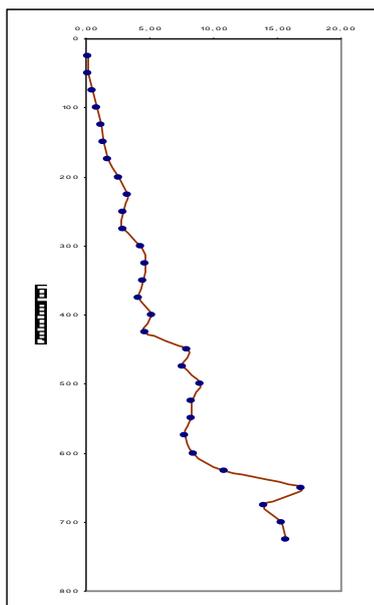


Fig. 12 Profil d’humidité pondérale

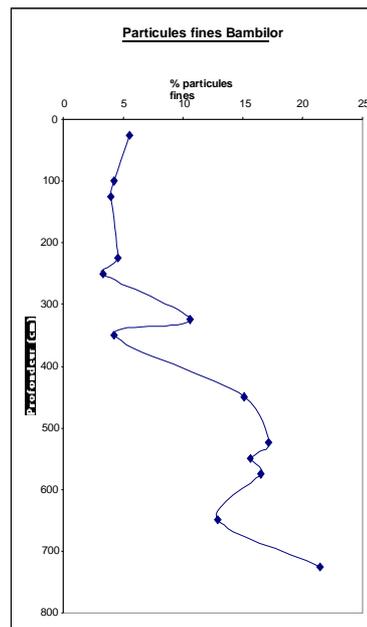


Fig. 13 Variation des taux de particules fines avec la profondeur

- Une augmentation des teneurs en eau à partir de -1,5m, une profondeur qui correspond à une portion élevée de particules fines (10 à 25%).
- Les deux profils suivent pratiquement la même tendance jusqu'à -6m avec des valeurs d'humidité qui se situent entre 1,80% (-1,75m) à 7,77% (-5,75m) et celles des particules fines entre 5% et 20%.
- A partir de -6m les deux profils ne se corrèlent plus. L'augmentation progressive de la teneur en eau jusqu'à la nappe est due aux remontées capillaires.

La problématique de la recharge sur la nappe de Thiaroye, l'identification des zones de recharge et le comportement hydrodynamique en rapport avec les précipitations enregistrées dans la région a été retenue comme thème de recherche. Un mémoire de D. E. A qui s'inscrit dans ce thème a été soutenu au Département de Géologie le **20. 11. 2009 par Mlle Mariama KABA.**

Sur les quatre derniers profils réalisés au niveau du puits de Kounone le traitement des échantillons programmé au laboratoire du département de Géologie concerne essentiellement la lixiviation avec le dosage des nitrates. Ces travaux seront complétés au niveau du CEREEQ par des analyses granulométriques et détermination de certains paramètres hydrodynamiques du sol utilisés dans le modèle de transfert hydrique et de soluté en zone non saturé prévu dans ce travail.

3. Modèle hydrodynamique sur le système aquifère de Thiaroye : Travail sur le logiciel de modèle Visual Modflow 2.7.1

Un étudiant thésard (Ousmane Coly Diouf) a fini d'introduire les paramètres du modèle. Durant la deuxième année son travail a consisté surtout à rouler le programme, calibrer le modèle en régime permanent et transitoire et simuler différents scénarios comme un arrêt ou une diminution des pompages, une augmentation de la recharge et leur impact sur les l'hydrodynamisme au niveau des bas fonds.

▪ Premiers résultats de la simulation sur le régime permanent :

Pour ce travail la piézométrie de 1969 a été prise comme référence pour calibrer le régime permanent. Les résultats du calage (**Fig.14 & 15**) donnent une restitution assez satisfaisante mais sur certaines zones on a un décalage entre les charges calculées et celles mesurées d'où la nécessité de poursuivre le calage en régime permanent.

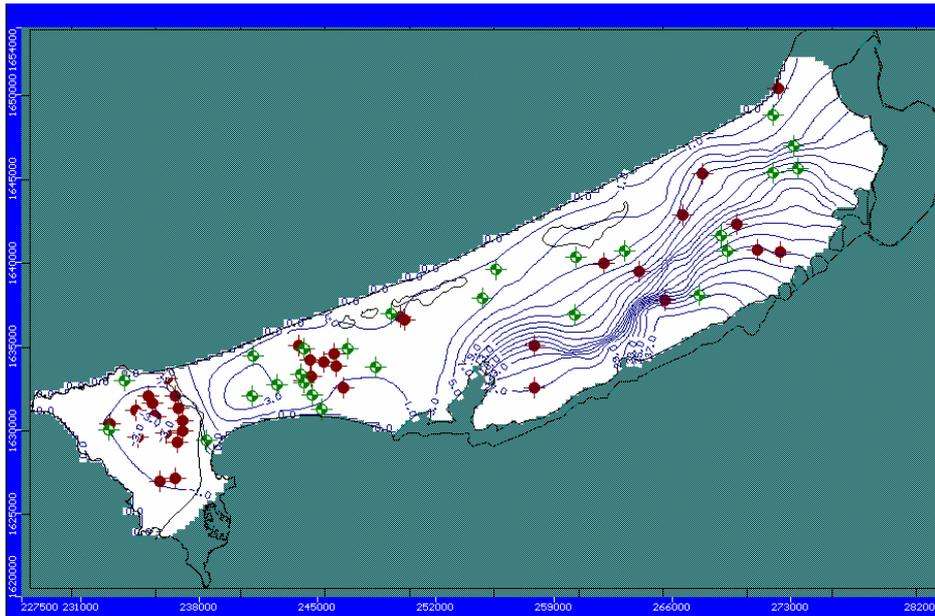


Fig.14 La piézométrie calculée (1969) sur la nappe de Thiaroye

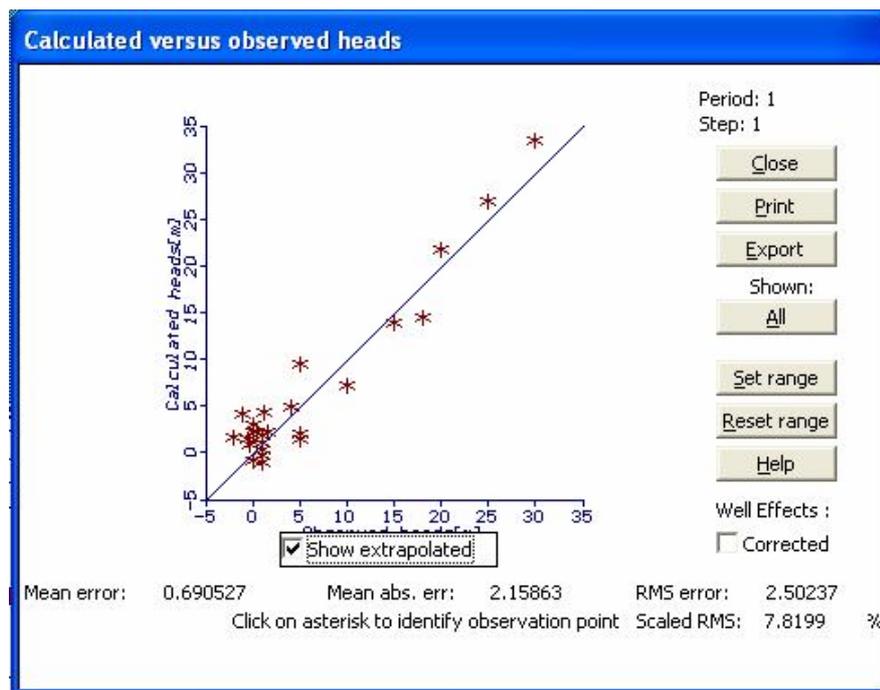


Fig.15 Droite de corrélation des charges calculées et celle mesurées (1969) sur la nappe de Thiaroye

▪ Régime transitoire : (En cours)

Les données du régime permanent ont permis de continuer le calage en régime transitoire. Cette phase a intégré des données récentes sur le système aquifère de Thiaroye (recharge, décharge de la nappe, paramètres hydrodynamiques qui sont acquises par essai de perméabilité au laboratoire). Ainsi seront simulés différents scénarios comme un arrêt ou

une diminution des pompages, une augmentation de la recharge et l'impact sur le niveau piézométrique.

Les résultats du modèle vont aider à mieux comprendre le comportement hydrodynamique de la nappe au niveau des bas fonds urbanisés et représentent des couches d'informations très déterminantes du Système d'Information Géographique élaboré dans l'analyse de l'origine des inondations et la localisation des sites inondables.

II. Caractérisation chimique – Etat de contamination et mécanisme de pollution de la nappe

Une synthèse des connaissances actuelles sur la nappe urbaine de Thiaroye pose globalement le problème quantitatif avec une remontée de la nappe constatée depuis la baisse des prélèvements mais également le problème de la qualité des eaux souterraines et son niveau de détérioration.

L'étude des processus de transfert hydrique et de solutés en zone non saturée contribue à la compréhension des mécanismes de pollution de la nappe.

Dans ce chapitre les actions suivantes ont été menées :

1. Données chimiques

1.1 Caractérisation chimique – Etat de la contamination actuelle :

▪ Travaux de terrain & de laboratoire – Résultats & Interprétation

Février à Mars 2008 :

Un réseau de 35 points composés de piézomètres, puits villageois et de forages d'exploitation réparti sur l'ensemble de la zone d'étude a permis de mesurer les paramètres physico-chimiques in situ (pH, conductivité électrique, température, potentiel rédox) et d'échantillonner l'eau de la nappe suivant les règles de rigueur en hydrogéologie. Les échantillons ont par la suite été analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie par chromatographie ionique DIONEX (**Annexe III**).

Les résultats montrent que les températures varient de 25 °C à 31 °C avec une valeur moyenne de 27°C. La valeur moyenne de pH est de 6.66, cependant il faut noter la présence d'eaux très acides ($3 < \text{pH} < 6$) au P21 (Yeumbeul) et aux forages de Thiaroye (F17, F19, F22) indiquant le caractère superficiel de la nappe.

Les eaux de la nappe de Thiaroye sont de type chlorurées sodiques de type Na-Cl (**Fig. 16**) et sont globalement très minéralisées avec une valeur moyenne de conductivité électrique de 2104.47 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'abondance des ions majeurs particulièrement les nitrates, chlorures et sulfates suggère un niveau d'altération élevé.

Les teneurs en nitrates sont particulièrement élevées ; 60% des échantillons prélevés présentent des valeurs largement supérieures à la limite admissible qui est de 50 mg/l, les valeurs sont comprises entre 4,13mg/l au PS.4 et 900mg/l au puits 202 à Kounone. Ces résultats montrent l'état de contamination excessive de la nappe et sa vulnérabilité à la pollution anthropique. Ceci explique la baisse des débits prélevés (5000 m³/j) voir l'arrêt de l'exploitation au centre de captage de Thiaroye.

Septembre - Octobre 2008

Une campagne d'échantillonnage a été effectuée durant l'hivernage sur le réseau de points de la campagne précédente. Les paramètres physico chimiques mesurés sur le terrain sont en annexe (**Annexe IV**). L'analyse des ions majeurs effectuée au laboratoire d'hydrochimie du Département de géologie a permis une comparaison du niveau de minéralisation de la nappe; mais également de suivre l'évolution saisonnière des teneurs en nitrates (**Fig. 17**). Les résultats montrent dans le milieu urbain notamment au niveau des forages de Thiaroye (F.17, F22) une hausse des teneurs en nitrate, ce qui peut être due au lessive des sols de la surface à la zone non saturée durant la saison des pluies après nitrification de l'azote organique. L'analyse des isotopes du nitrate peut aider dans l'étude de l'origine des fortes teneurs en nitrates sur la nappe.

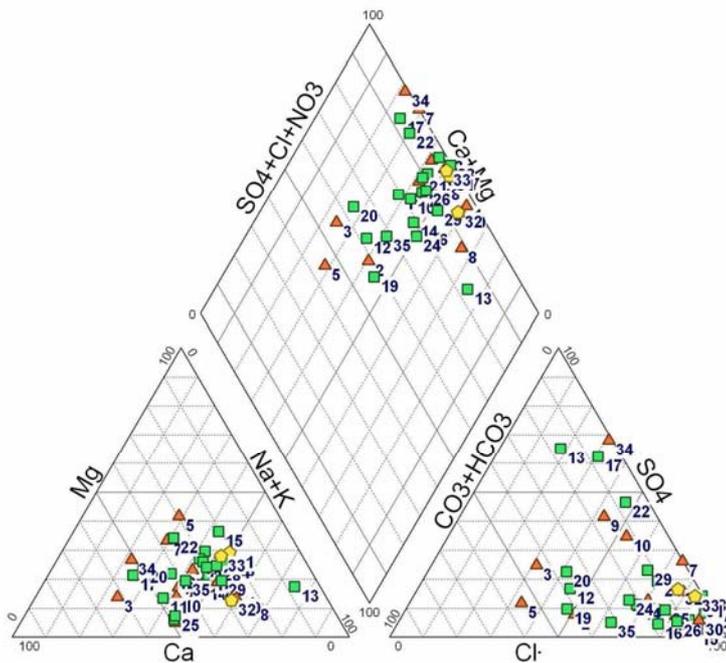
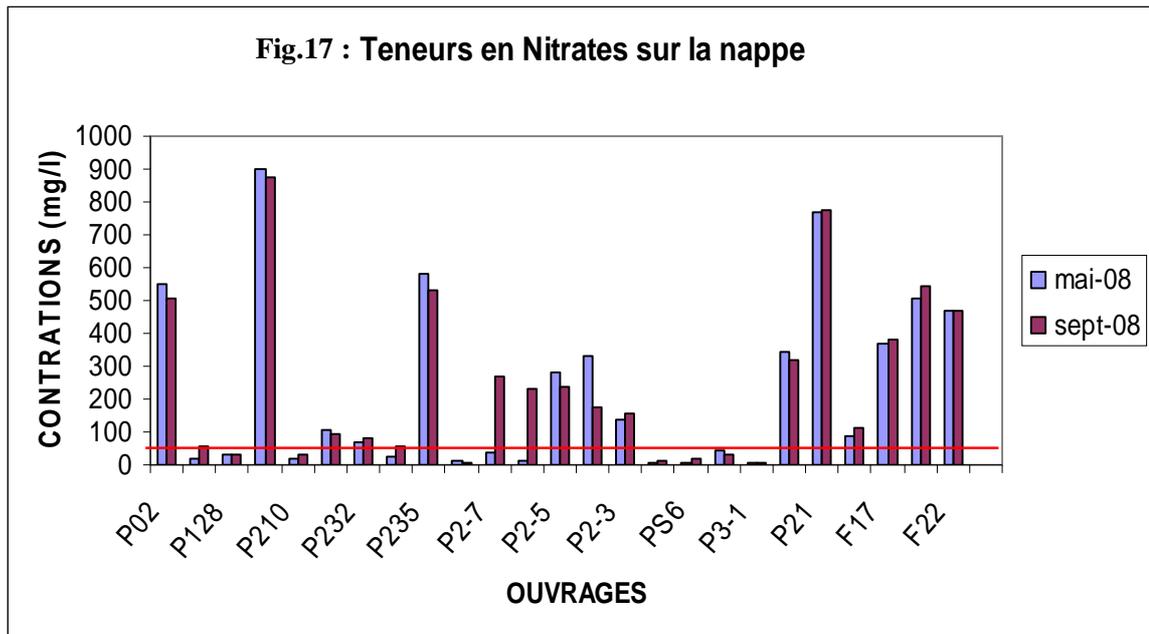


Fig.16 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe de Thiaroye (Mars 2008)



L'échantillonnage était également destiné aux analyses isotopiques ($^{34}\text{S-SO}_4$, $^{18}\text{O-SO}_4$, ^{11}B et ^{13}C). Les résultats obtenus après analyses au laboratoire de géochimie isotopique de l'Université Technique de Graz en Autriche (*Joanneum Research*) sont en cours d'exploitation.

Les signatures isotopiques peuvent édifier sur l'origine anthropique des sulfates comme les acides industrielles, les eaux usées ou les sources minérales dues à la dissolution du gypse ou météorique et également peuvent aider sur l'interprétation de processus de minéralisation des eaux de la nappe.

Juin et Octobre 2009:

La phase de prolongation du projet a permis d'obtenir pour l'année 2009 des données complémentaires sur l'hydrochimie en période d'été (Juin) et d'hivernage (Octobre). Les résultats d'analyses chimiques (Juin 2009) et des paramètres physico chimiques mesurés sur le terrain sont donnés en **Annexe V**. Les analyses d'octobre 2009 sont en cours.

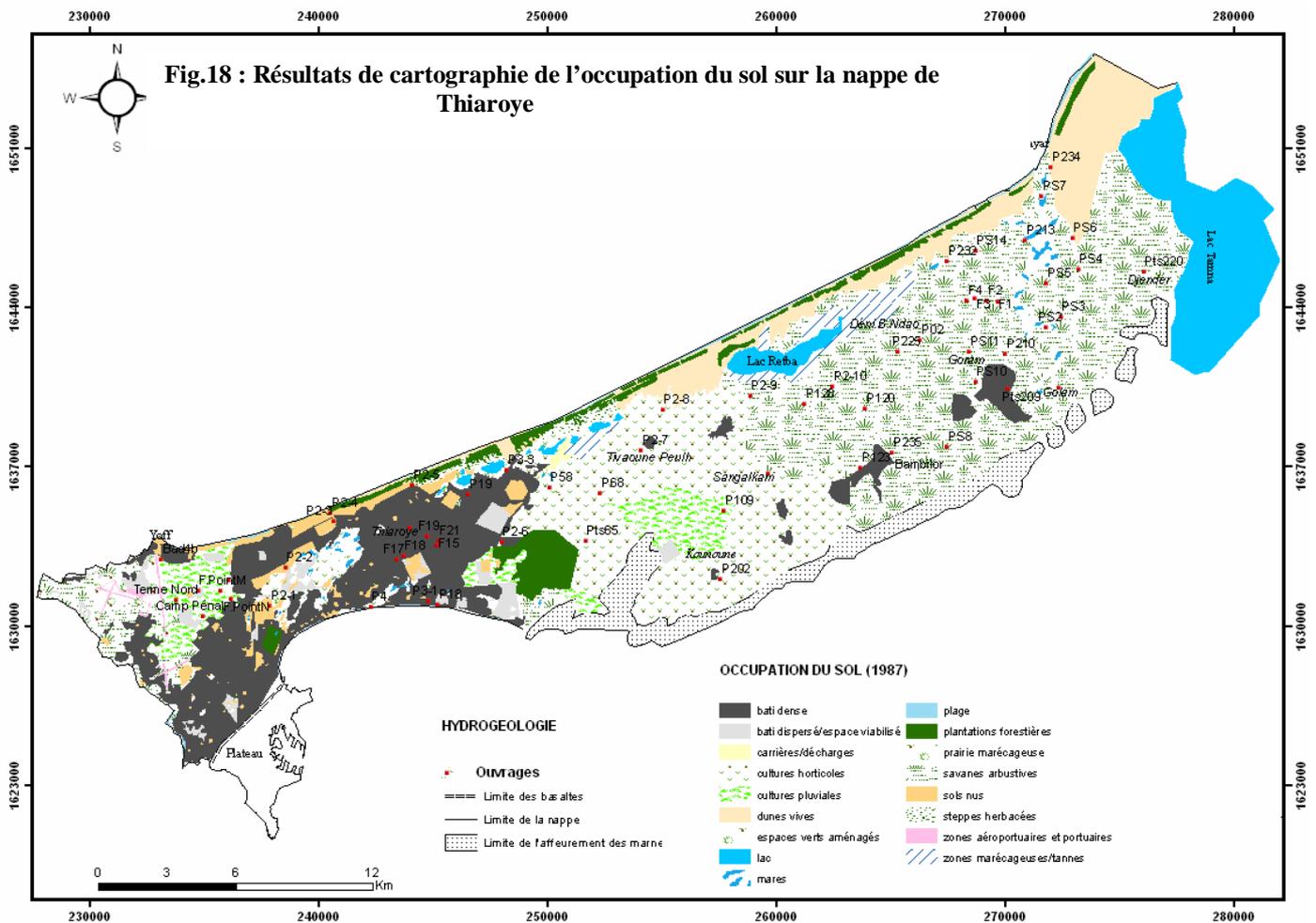
1.2 Etude de l'impact de l'occupation du sol sur la qualité des eaux Souterraines

L'étude de la détérioration de la qualité des eaux en milieu urbain non assaini notamment la contamination par les nitrates a été un thème majeur de recherche dans le cadre de ce projet. Ceci se justifie par l'utilisation directe de la nappe par les populations locales et les nuisances engendrées. Différentes approches méthodologiques ont été utilisées pour étudier l'origine de la contamination et le niveau de détérioration de la qualité des eaux notées ces dernières années sur cette nappe urbaine et agricole. L'utilisation des SIG et Télédétection dans l'étude de la dynamique urbaine et de l'occupation du sol et l'impact sur la qualité des eaux souterraines dans la région nous ont permis d'établir une bonne corrélation entre les teneurs élevées en nitrates et la forte pression anthropique.

Ce thème de recherche retenu dans le cadre du projet a fait l'objet d'une communication lors du séminaire:

« International Symposium "Coupling Sustainable and Groundwater Protection"
14 – 17 October 2008 Hannover / Germany »

Le mémoire de DEA soutenu au Département de Géologie le **03.08.2009** par Mlle **Nafi Racine Sow** s'inscrit dans ce thème défini comme axe de recherche dans le cadre du projet.



L'interprétation visuelle des images décrite dans les premiers chapitres a permis l'élaboration de cartes d'occupation du sol plus détaillée pour la localisation des ouvrages et l'étude hydrogéologiques (**Fig.18**). Les résultats montrent différentes classes regroupées en 5 catégories : végétation naturelle, surface en eau libre et zones humides, zones artificielles, zones de cultures et zones nues (**Annexe II**). La classification des ouvrages hydrogéologiques (**Tableau III**) selon le type d'occupation du sol permettra de voir l'influence sur la qualité des eaux souterraines et de suivre l'évolution de la minéralisation en rapport avec les changements observés.

Tableau III : Classification des ouvrages hydrogéologiques en fonction des catégories D'occupation du sol

CATEGORIE	Zones artificielles (bâti dense et dispersé)	Zones de végétations naturelles	Zones nues	Zones de culture
	<i>F17 ,F18, F19 ,F21 F15, F22 ,P2.2 ,P2.1,P2.4, P4, P3.1, P18, BAD4 ,P2.6 ,P19, P3.3 ,P2.7 ,P202 ,P123 ,PTS209, PTS235</i>	<i>P2.9 ,P128 ,P2.10 ,P120, PS8 ,PS10 P225 ,P02 ,PS11 ,P210 ,PS2 ,PS3 PS5 ,P232 ,PS14 ,P213,PTS220 ,P234 ,F4 ,F2 ,F3, F1 ,PS7</i>		
OUVRAGE			<i>PS6, P2.3, P2.5, PS4</i>	<i>P109, P2.8, P68, P58, PT.N F.T.NORD F.POINTM</i>

Les eaux de la nappe de Thiaroye sont fortement minéralisées et cet état de minéralisation est très influencé par le type d'occupation du sol (**Fig. 19 A**). Les résultats montrent que dans les zones artificielles occupées par l'habitat dense et dispersé, la conductivité électrique est très élevée et varie de 104 à 1925 $\mu\text{S/cm}$.

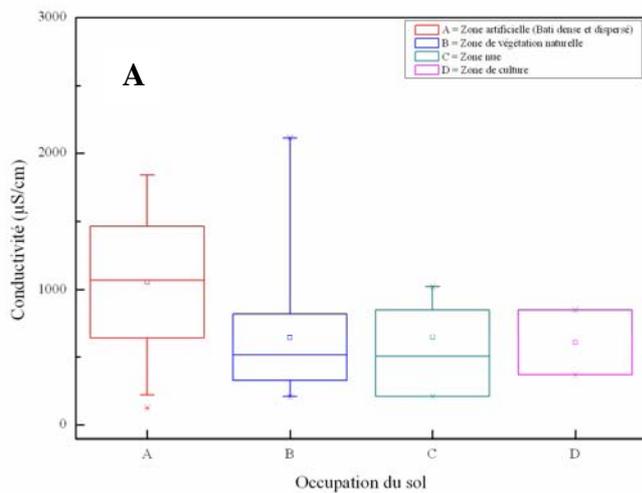


Fig.19 Variation de la minéralisation en fonction de l'occupation du sol

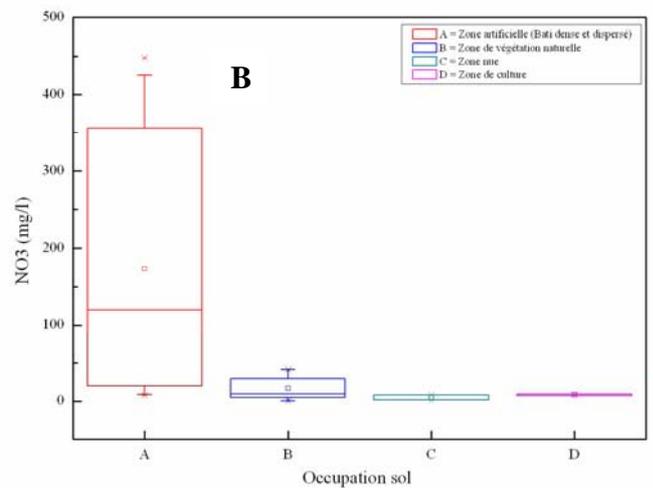
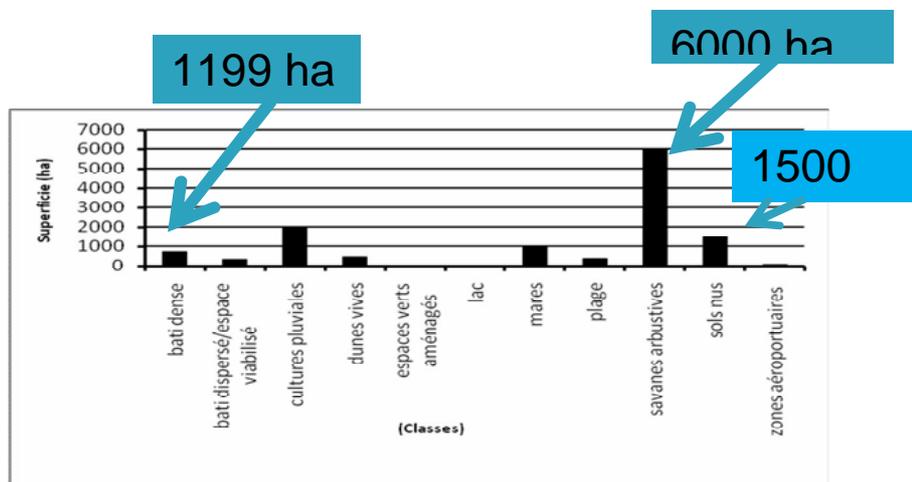
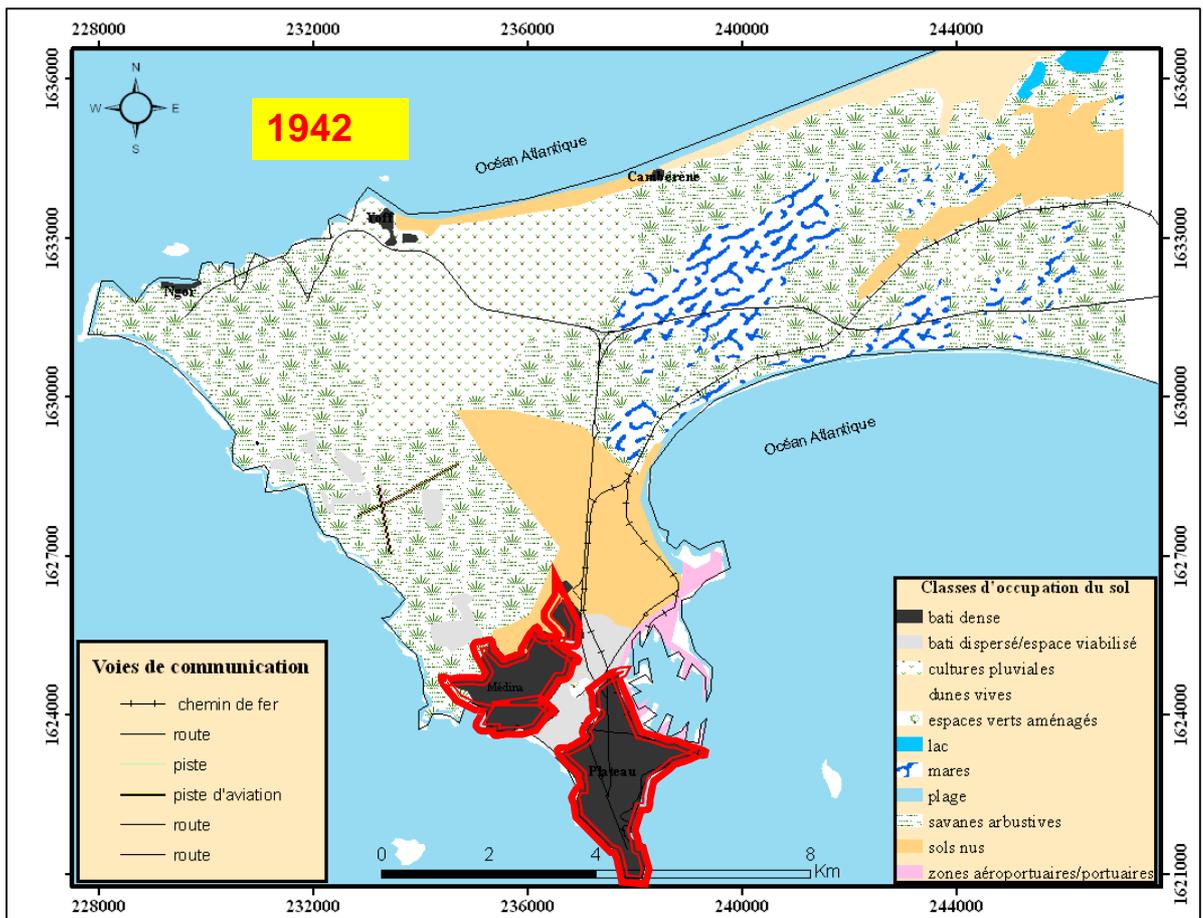
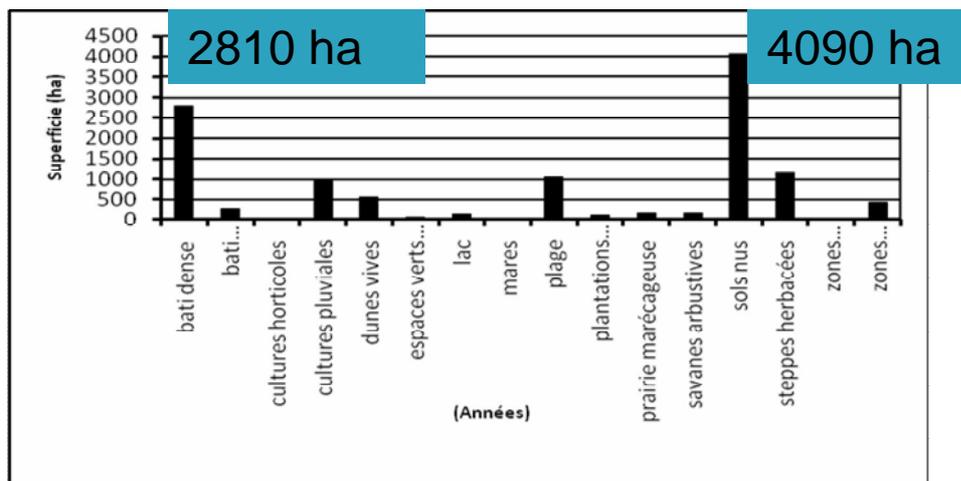
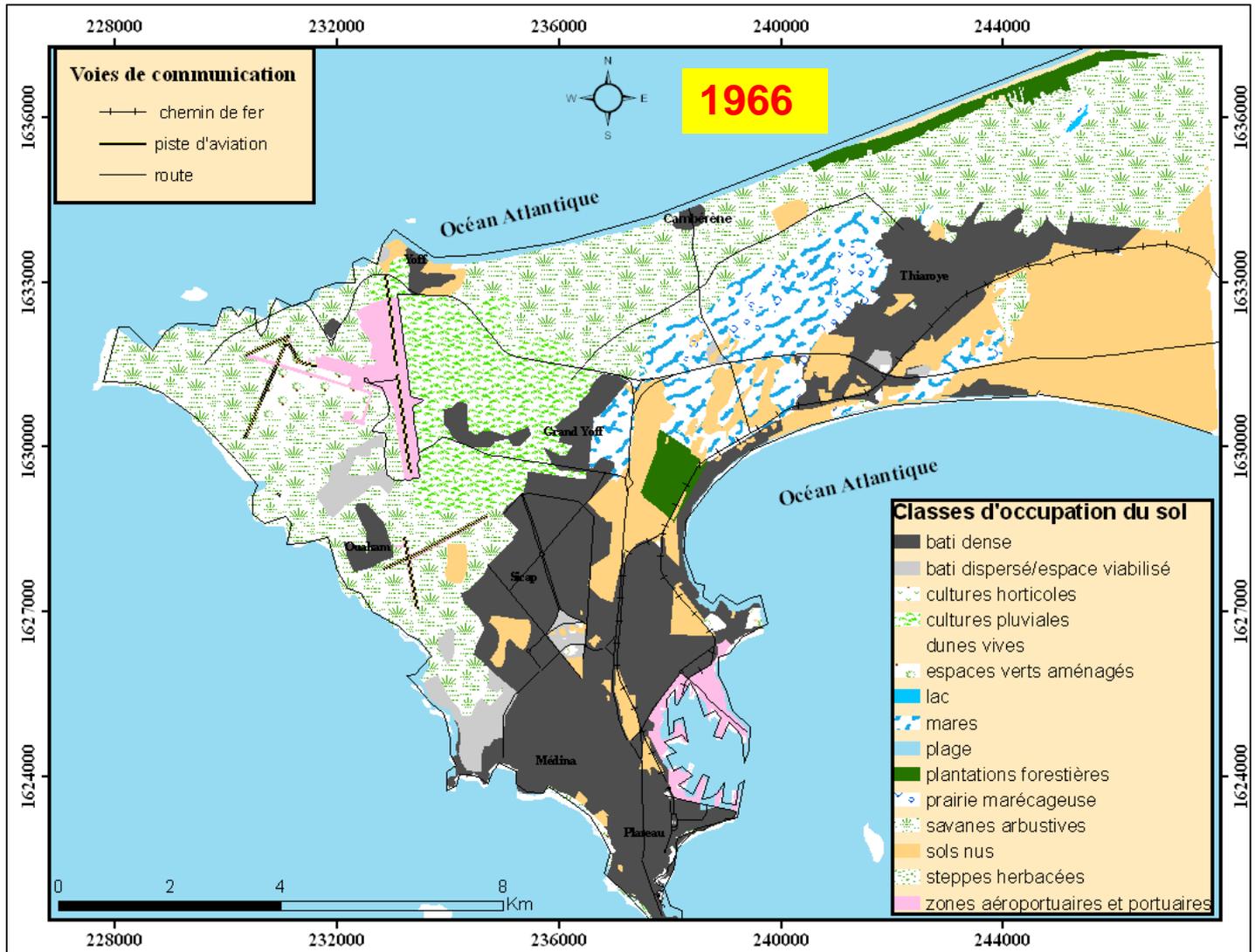


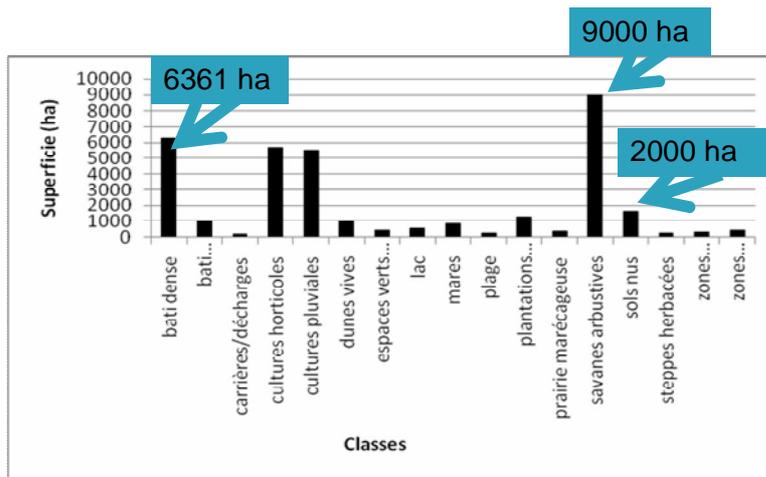
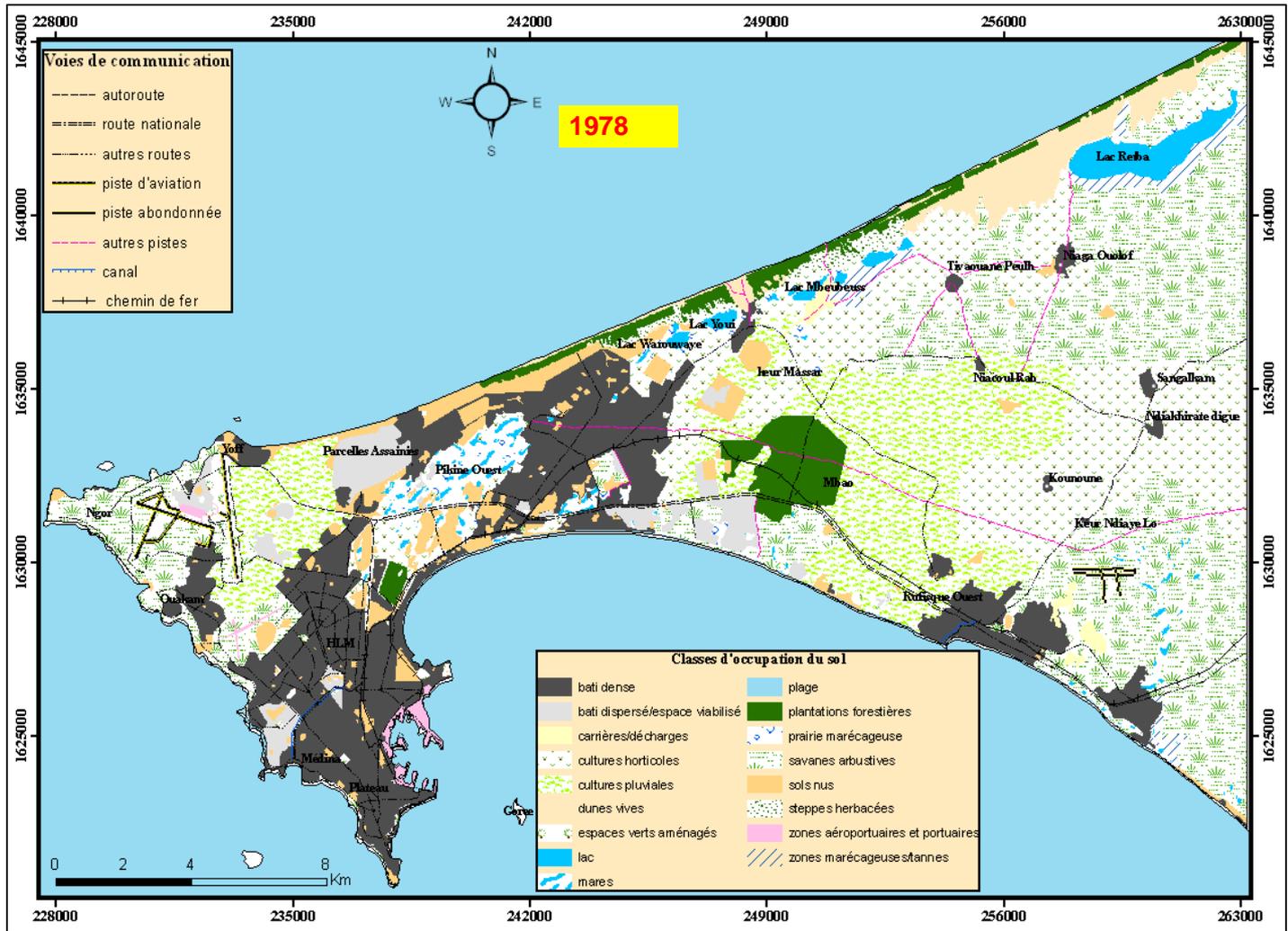
Fig.19 Variation des concentrations en nitrates en fonction de l'occupation du sol

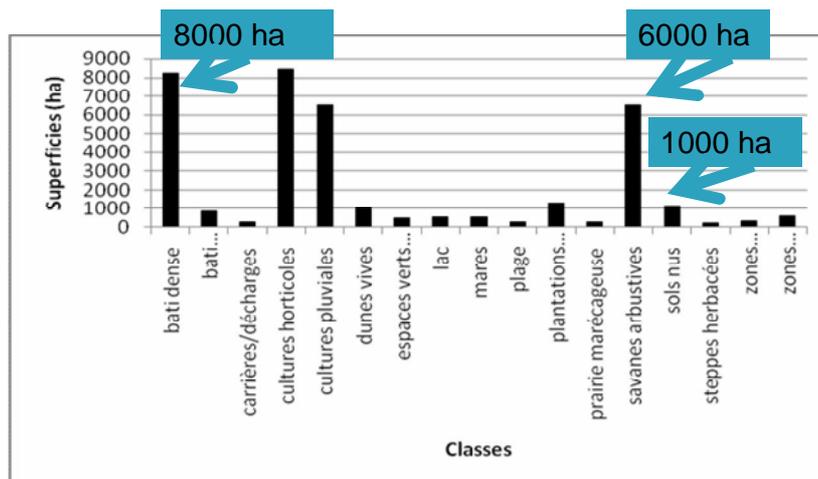
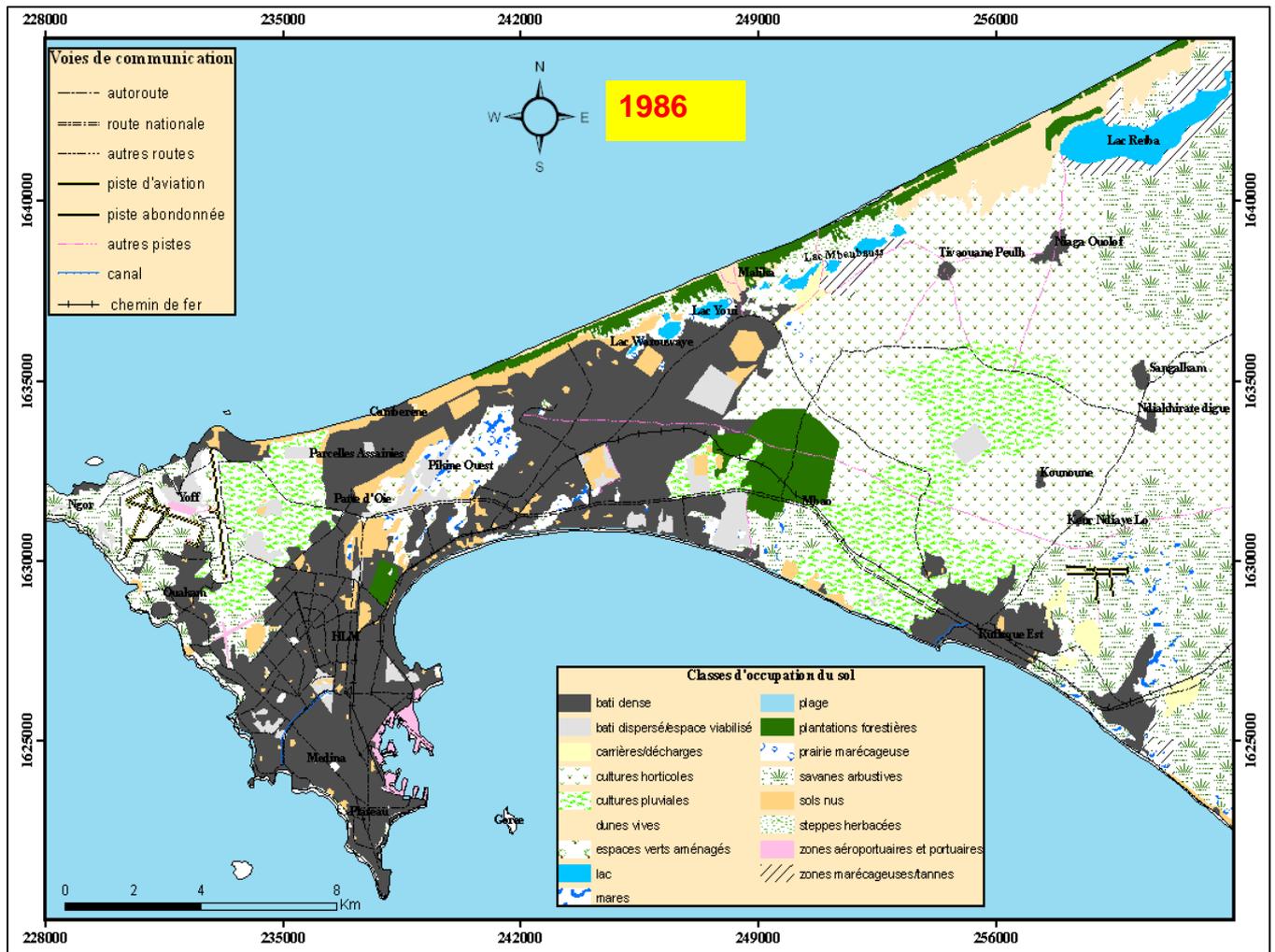
Cette tendance est également observée sur les concentrations en nitrates (**Fig. 19 B**). Les fortes concentrations donnent une bonne corrélation avec le niveau de minéralisation dans les zones d'habitat. On note également de grandes variations des teneurs en nitrates en fonction du type d'occupation du sol. Dans les zones d'habitat les concentrations en nitrates sont très élevées et varient de 40 à 365 mg/l par contre dans les zones de végétation naturelle, zones de cultures et zones nues les eaux souterraines présentent une qualité meilleure avec des teneurs en nitrates < à la norme (50mg/l).

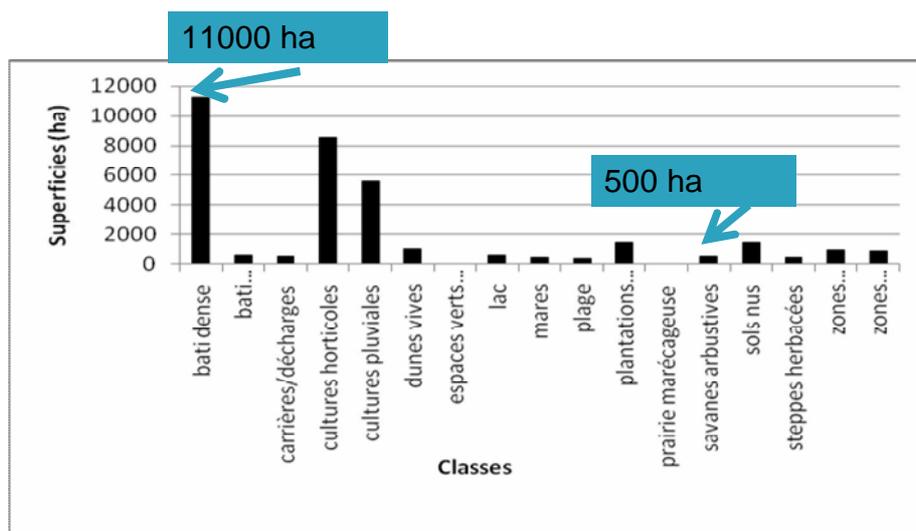
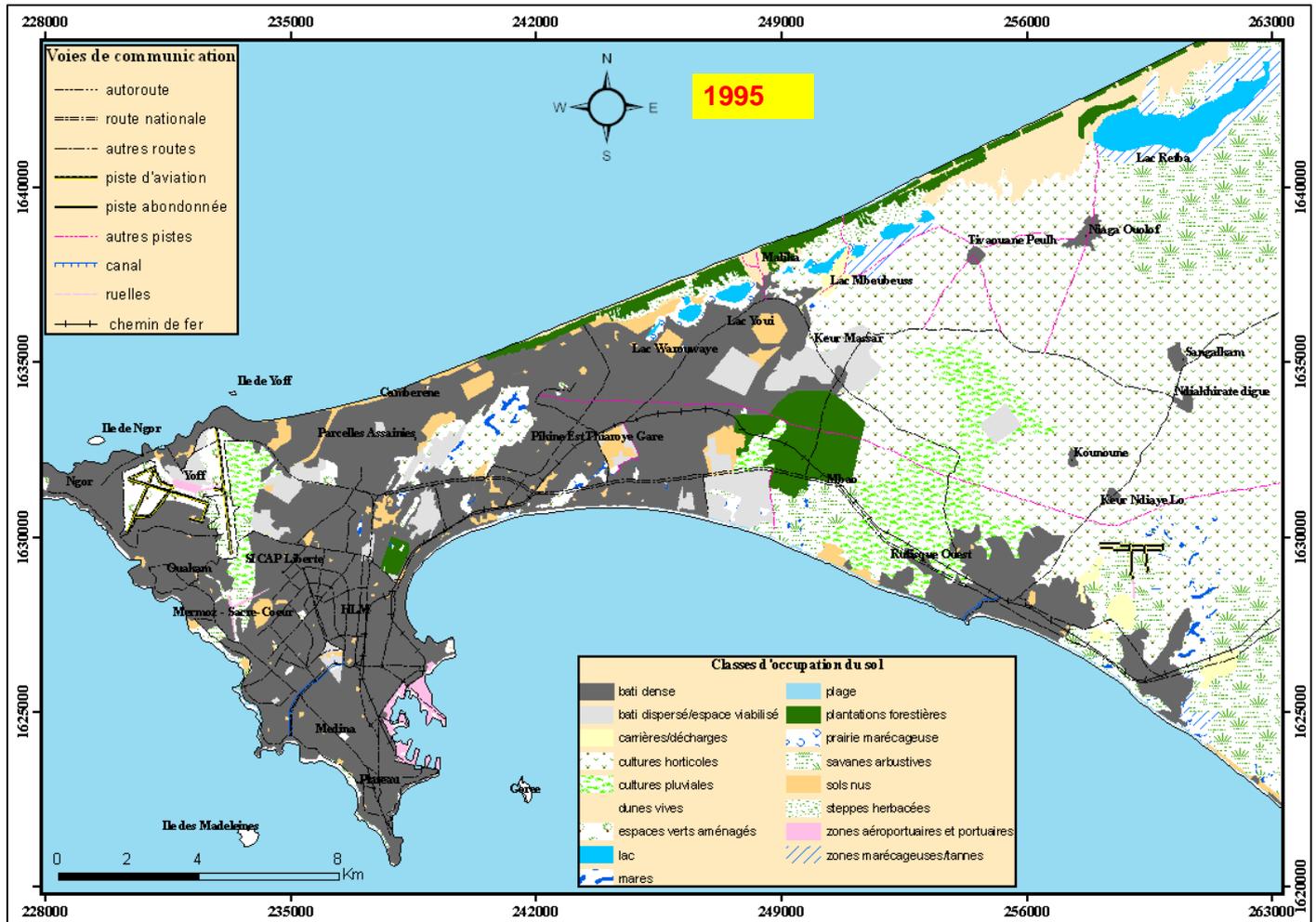
PLANCHE VIII Cartographie de l'évolution de l'occupation du sol autour du centre de captage de Thiaroye

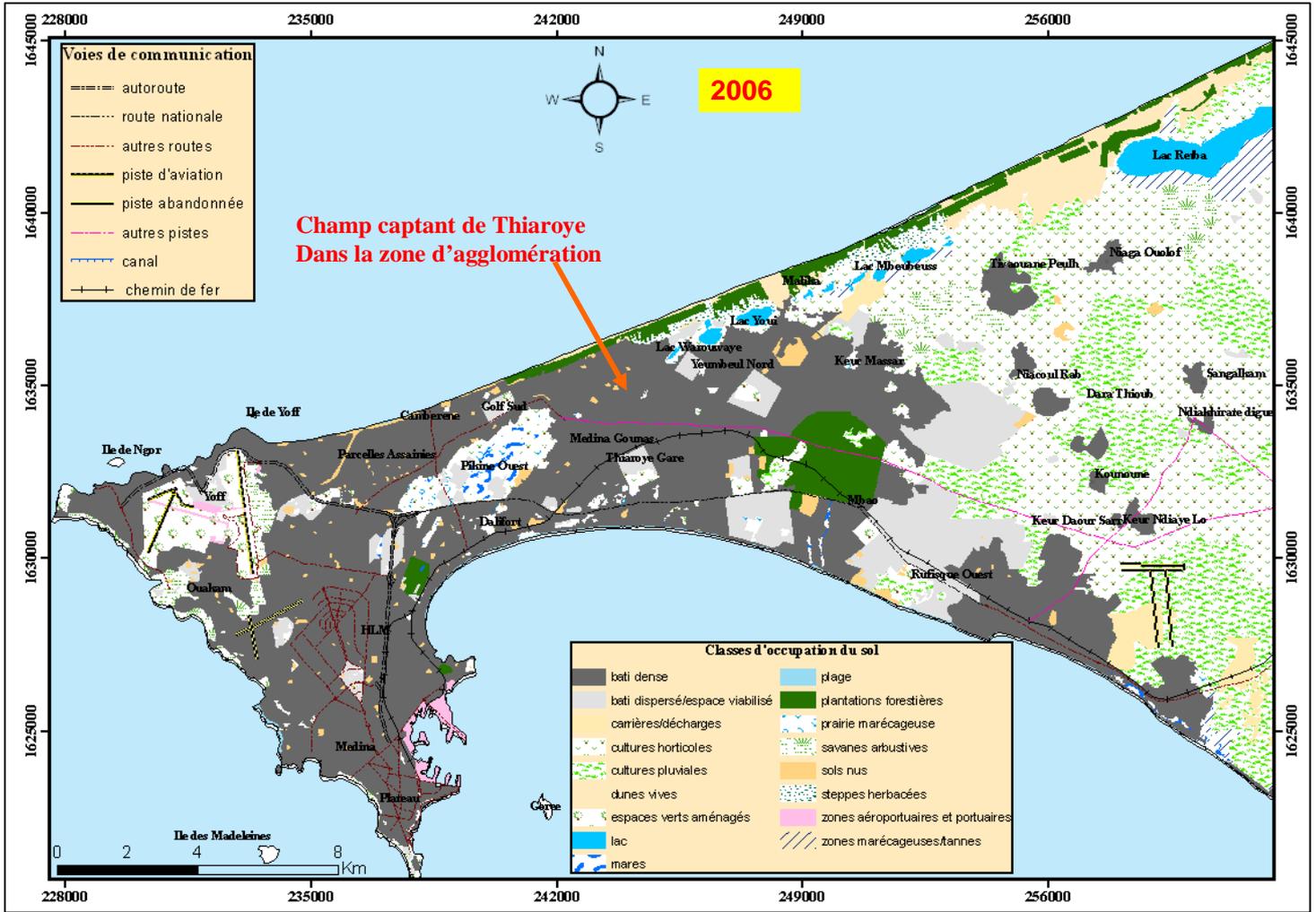




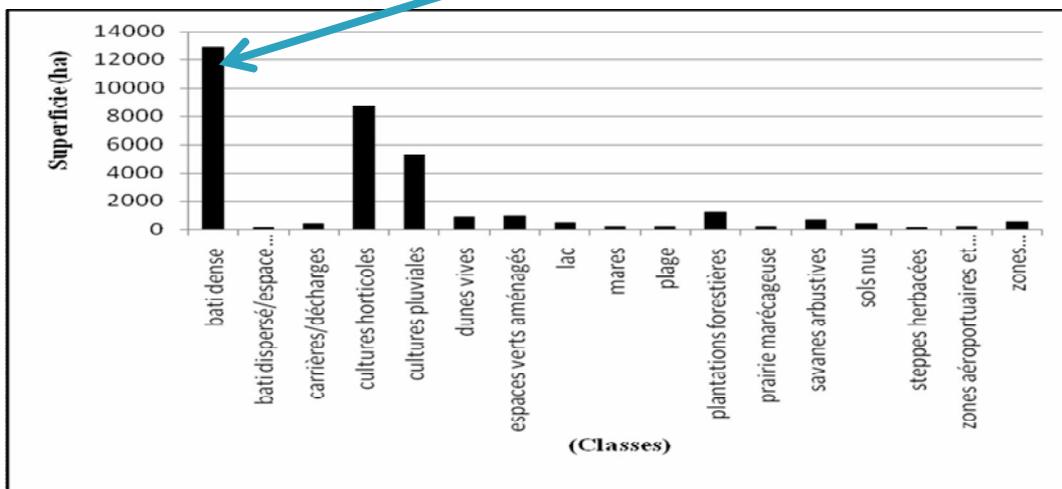








13000 ha



L'objectif principal est d'identifier les catégories et classes d'occupation du sol pour une caractérisation des états de surface du système aquifère de Thiaroye. Un intérêt particulier sera porté sur la zone d'agglomération de Thiaroye et les changements notés dans la zone durant ces dernières années pour étudier l'impact sur la qualité des eaux souterraines. Les résultats de cartographie sur l'évolution de l'occupation du sol notamment de la dynamique urbaine dans la région de Dakar (**Planche VIII**) montrent différentes classes d'occupation du sol (**Annexe II**) regroupées en 5 catégories : végétation naturelle, surface en eau libre, zones artificielles, zones de cultures et des zones nues. Pour la détection des changements, les vecteurs issus de l'interprétation sont combinés deux à deux pour obtenir une image résultante (classification croisée) et une matrice des changements (tabulation croisée). En terme de changement, trois cas de figures se sont présentés à savoir une conversion d'une catégorie à une autre, une modification au sein d'une même catégorie ou une zone sans changement. Les matrices de changement (78-86), (86-95), (95-2006) ont permis d'obtenir les données statistiques concernant les modifications ou conversions intervenues dans la zone. Les résultats donnés dans le premier chapitre (**Tableau I**) et (**Tableau II**) révèlent entre 1995 et 2006 des conversions notables avec 40,27% des surfaces dans la catégorie de végétation naturelle, zones de cultures, zones nues et plan d'eau libre qui sont transformées en zones artificielles notamment en bâti dense, bâti dispersé et espaces viabilisés.

Concernant les modifications au sein d'une même catégorie, les résultats montrent que (512,6 Ha) de bâti dispersé, (17,8 Ha) des espaces verts aménagés et (10,9 Ha) des zones aéroportuaires et portuaires se sont modifiés en bâti dense.

En rapport avec l'évolution de l'occupation du sol, le suivi des teneurs en nitrates dans le centre de captage de Thiaroye depuis 1966 (**Fig. 19**) révèle que la détérioration de la qualité des eaux souterraines avec les fortes teneurs en nitrates variant de 128 à 167 mg/l date des années 1988 marquée déjà par la présence de l'agglomération urbaine dans la zone. Avant cette date entre 1967 et 1972 la pression anthropique était moins forte et les concentrations en nitrates étaient de 5 à 34 mg/l inférieures à la limite admissible qui est de 50mg/l. Depuis 1988 on a une augmentation des teneurs en nitrates atteignant des valeurs excessives de 550 mg/l en 1997 au niveau du centre de captage de Thiaroye, caractérisée par l'habitat spontané très dense et le manque d'assainissement sur cette nappe sableuse et très superficielle.

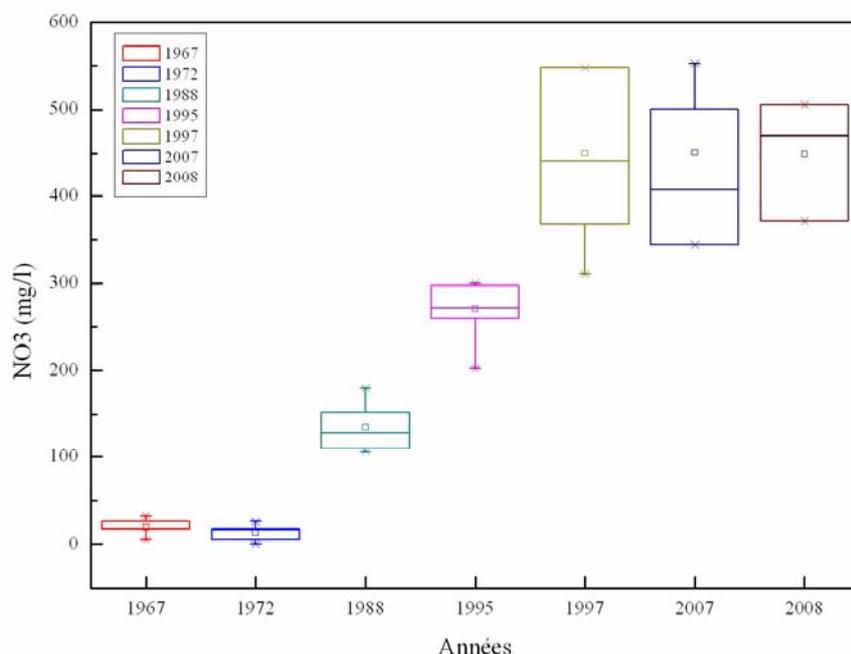


Fig.19 Variation des concentrations en nitrates dans le temps au niveau du centre de captage de Thiaroye

2. Données isotopiques :

2.1 Isotopes des nitrates dans les eaux souterraines

L'utilisation des isotopes de l'azote sera également d'un grand apport dans l'identification des sources de pollution de cette nappe urbaine. L'approche isotopique permettra de valider les différentes sources de pollution identifiées sur les cartes d'occupation du sol récentes précédemment établies dans le cadre de cette étude. Les sources de pollution peuvent être anthropiques et localisées dans les zones d'agglomération non assainies, et agricole.

Les signatures isotopiques peuvent également permettre d'évaluer certains processus géochimiques dans le milieu souterrain.

Dans le cadre du projet, les résultats obtenus sur les isotopes des nitrates ont fait l'objet d'une deuxième communication au colloque:

**« International Symposium “Coupling Sustainable and Groundwater Protection”
14 – 17 October 2008 Hannover / Germany ».**

Les teneurs de ($^{15}\text{N-NO}_3$) de la nappe de Thiaroye (**Tableau IV**) mesurées au laboratoire de géochimie isotopique de l'Université de Bochum en Allemagne montrent la même tendance que celles obtenues en mars - avril 2006 (Re et al. 2006) (**Tableau V**). Dans les eaux souterraines, la signature isotopique des nitrates peut être très déterminante dans au moins trois processus à savoir la source, les processus de dénitrification ou de nitrification ou de mélange d'eaux (Wilson, 95).

La figure 20 donne les variations des concentrations en nitrates en fonction des signatures isotopiques, la répartition des points sur le graphe ne prouve aucun processus de dénitrification majeure dans le contexte de cette nappe urbaine et affleurante, par contre on note un mélange d'eaux avec des sources de contaminations en nitrate et des teneurs différentes.

Les résultats montrent de fortes concentrations en nitrates (111 - 855mg/l) avec des signatures isotopiques variant de +11,1 à +22,2 ‰. Généralement les teneurs en $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ supérieures à 10‰ sont liées à une pollution anthropique et locale (Clark et Fritz, 1997). Les fortes concentrations en nitrates observées sur cette nappe urbaine de Thiaroye sont principalement dues à l'infiltration d'eaux usées domestiques et des fosses septiques. Cependant le point Pts 128 présente une valeur en $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ supérieure à +10‰ (+11,1‰) reflétant la même source mais avec une faible teneur en nitrates (9,8 mg/l). Ceci peut être due à une réduction des nitrates par de faibles processus de dénitrification.

Les concentrations en nitrates (54,9 – 471 mg/l) obtenues avec des teneurs en $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ comprises entre +7‰ et +10‰ peuvent être liées à une minéralisation et nitrification de l'azote organique du sol ou à un mélange de ces eaux avec les eaux usées.

Les analyses de $^{18}\text{O-NO}_3$ envisagées pour compléter les résultats sur $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ en dissociant l'azote de la matière organique du sol, des engrais, des précipitations, des eaux usées ou fosses septiques (Kendall & McDonnell, 2000) n'ont pas pu se réaliser dans le cadre du projet avec les travaux de l'étudiant en PhD Mathias Diedhiou.

IV: Concentration des nitrates et $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$
sur la nappe de Thiaroye

Points	NO3 (mg/l)	$\delta^{15}\text{N}$ [‰ Air]
Pts 02	557	12,0
P2-6	362	9,7
P2-7	153	9,0
Pts 58	278	10,0
Pts 58b	89,1	8,6
Pts 128	9,8	11,1
Pts 202	855	22,2
Pts 215	128	9,8
Pts 232	54,9	7,3
Pts 235	471	9,8
P2-5	111	12,6
F17	298	13,0
F19	280	11,1
F21	221	10,2
F22	200	14,1

Diedhiou 2007

Tableau V : Concentration des nitrates sur la nappe de Thiaroye

Points	NO3 (mg/l)	$\delta^{15}\text{N}$ [‰ Air]
Pts 02	562	14.24
P2-6	205	15.12
P2-7	41	15.15
Pts 58		
Pts 58b		
Pts 128		
Pts 234	288	17.30
Pts 215		
Pts 232	76	8.27
Pts 235	690	11.88
P2-5	439	11.06
P3-2	12	19.26
P2-10	15	11.25
P2-3	120	10.87

Re.2006

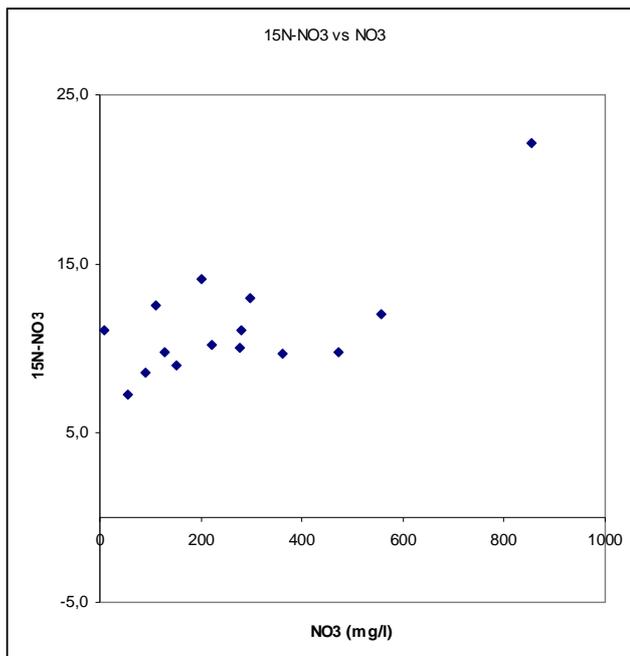


Fig.20 Diagramme NO3 VS $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ de la nappe de Thiaroye

2.2 Isotopes des sulfates dans les eaux souterraines

Dans le contexte de la nappe urbaine de Thiaroye, les teneurs en nitrates sont fortement corrélées avec des concentrations élevées en sulfates.

Les analyses isotopiques $^{34}\text{S-SO}_4$ et $^{18}\text{O-SO}_4$ envisagés dans ce projet peuvent bien renseigner sur l'origine des sulfates. Les isotopes stables de S et O dans le SO_4 seront également utilisés pour étudier d'autres processus géochimiques sur la nappe notamment une dissolution de gypse.

L'analyse du ^{13}C et du ^{11}B est également prévue pour l'interprétation de processus de minéralisation.

2.3 Isotopes stables des précipitations

Le signal d'entrée est déterminé au niveau des eaux de précipitation atmosphérique et des eaux infiltrées. Ainsi les analyses isotopiques et chimiques ont été effectuées dans le cadre de ce projet au laboratoire du GSF à Munich / Allemagne et au laboratoire d'hydrochimie du Département de géologie. Les résultats chimiques et isotopiques sont obtenus sur 8 stations pluviométriques localisées dans la région du Cap-vert et de Thiès durant l'hivernage 2008 (**Annexe IV**).

2.4 Isotopes stables des eaux souterraines

Les teneurs en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la nappe et des eaux de pluie de la zone d'étude sont représentées sur **la figure 21**. Les valeurs en oxygène 18 varient entre -5,1 et -1,5‰ avec une moyenne de -3,8‰, celles du deutérium varient de -38 à 19‰ avec une moyenne de 31,3‰ sur la nappe. Le diagramme conventionnel représenté par $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ (**Fig.21**) montrent que les points s'inscrivent en dessous de la droite météorologique mondiale (GWWL de la forme : $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$) (Craig, 1961), ce qui est caractéristique des aquifères sahéliens (Fontes et al. 1991). Cette tendance peut être due à une reprise évaporatoire intense des eaux de la nappe de Thiaroye, en accord avec le caractère phréatique de la nappe dont le niveau statique est très proche du sol.

Il ressort également une recharge du système par les eaux de pluie confirmée par les teneurs en tritium.

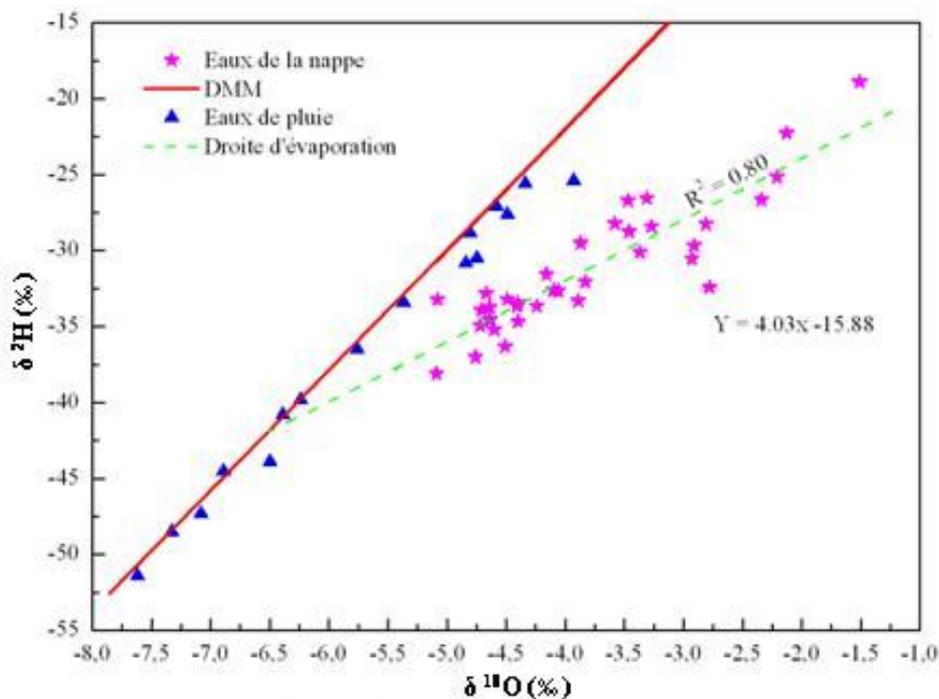
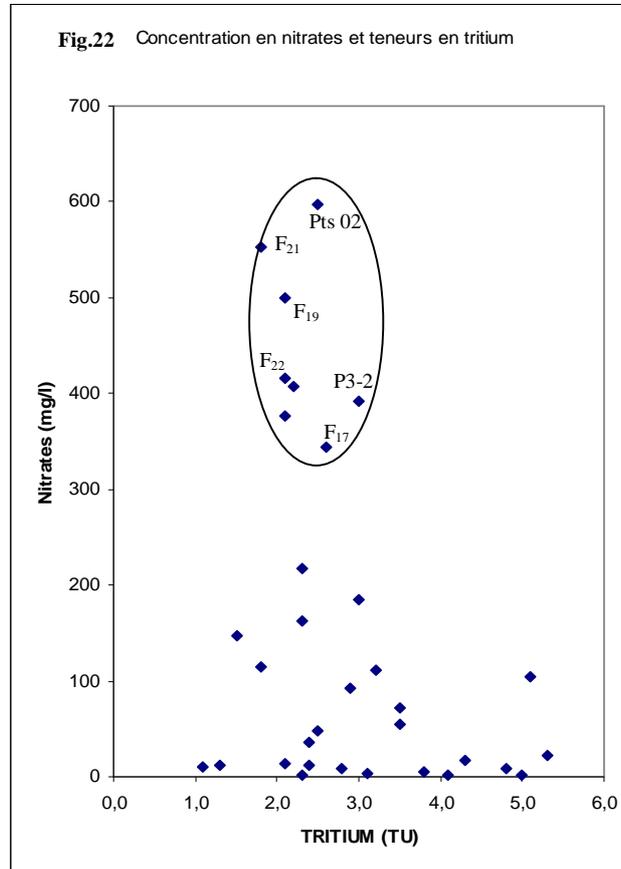


Fig.21 : Composition en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la nappe et des eaux de pluies sur la Presqu'île du Cap-Vert

2.5 Isotopes radioactifs

La bonne corrélation des hautes teneurs en tritium et des fortes concentrations en nitrates surtout au niveau des forages d'exploitation (F₁₇, F₂₂, F₁₉, F₂₁, P₃₋₂) implantées dans une zone péri-urbaine mal assainie montre une forte influence d'une recharge artificielle et récente qui est source de pollution ponctuelle de la nappe.



3. Mécanisme de contamination

3.1 Expérimentation sur colonne pour détermination du pouvoir épurateur en zone non saturée

Les essais sur colonnes effectués au laboratoire de sédimentologie de l'université de Bochum avaient pour objectif de déterminer le pouvoir épurateur de la zone capillaire sur les nitrates.

Le dispositif expérimental utilisé a permis de réaliser des conditions de saturation et d'anaérobie pour une injection de solution de nitrates à concentration connue. Avec la solution recueillie il a été effectué le dosage des SO₄, NO₃, NO₂ et HCO₃ et la mesure du pH et de la température.

Les résultats bruts qui sont en cours d'exploitation montrent une diminution des teneurs en nitrates pouvant être liée à une réduction en zone capillaire.

3.2 Étude de la contamination en zone péri-urbaine : Variation et changement des concentrations en nitrates autour d'un puits d'exploitation:

L'étude des processus de transfert hydrique et de solutés en zone non saturée notamment des conditions physico chimiques contribuerait à la compréhension des mécanismes de pollution de la nappe. A cet effet différentes actions ont été menées sur deux puits villageois en exploitation et fortement contaminés par les nitrates.

Le premier puits choisi est localisé à Mbeubeuss (Pts.58) dans un site agricole de Niayes présentant des teneurs en nitrates de l'ordre 216 mg/l. Sur le deuxième site localisé dans un environnement peri-urbain mal assaini à Kounone la contamination est beaucoup plus élevée allant jusqu'à 800mg/l au puits (Pts.202).

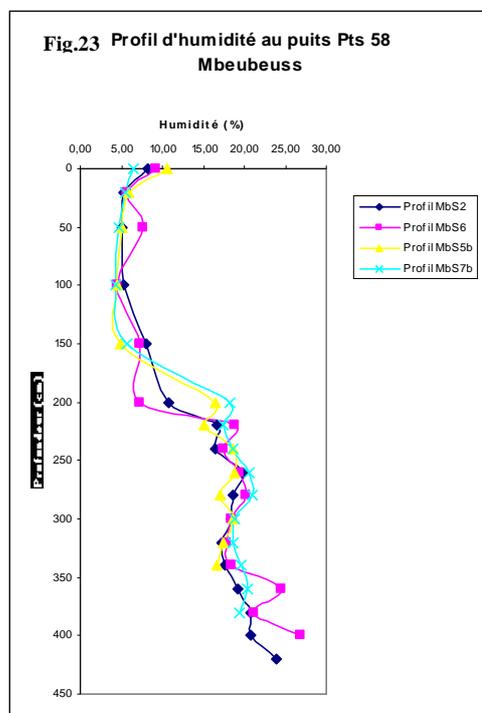
Travaux de terrain et de laboratoire – Interprétation et résultats

Septembre - Octobre 2008

Après les travaux d'échantillonnage et de mesure de niveau sur notre réseau, il a été réalisé sur le premier site choisi à Mbeubeuss au puits Pts. 58 et conjointement avec un étudiant en Master André Baumeister de Ruhr Université de Bochum des profils verticaux en zone non saturée de direction N-S / EW autour du puits pour le prélèvement d'échantillons de sol à des profondeurs régulières jusqu'à la zone capillaire de la nappe.

Après pesage, environ 200g d'échantillon de sol sont prélevés à chaque niveau et conservés dans des sachets en plastique avant d'être transportés au laboratoire.

Au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie, deux types de traitement ont été effectués sur ces échantillons :



- La détermination du taux d'humidité des échantillons de sol (**Fig.23**).

Une pré interprétation des premiers résultats montre que les profil d'humidité présentent la même allure. Cependant on note un décalage de la courbe MbS6 à 50 cm puis à 200cm de profondeur. Pour l'interprétation ces courbes doivent être corrélées à celles du pourcentage des particules fines du sol. Ceci permettra de voir si les rétentions d'eaux traduites par des pics sur les profils correspondent à des phases granulométriques fines.

- La lixiviation pour dosage des d'anions (NO_3 , SO_4^{2-} , Cl , HCO_3). Les analyses chimiques sur le lixiviat obtenu sur chaque échantillon sont en cours au laboratoire et les paramètres physico physico-chimiques doivent être déterminés pour voir les conditions du milieu et les processus de minéralisation.

Par rapport aux objectifs du projet cette étape devra permettre d'évaluer les transferts d'eau et des nitrates dans la zone non saturée pour une compréhension des mécanismes de contamination de la nappe souterraine. Ainsi durant la phase de prolongation du projet on a pu réaliser sur le site de Kounone 4 profils en zone non saturée et autour du puits 202. La lixiviation des échantillons de sol pour le dosage des Nitrates est en cours au laboratoire du Département de Géologie. Les résultats permettront une comparaison avec ceux obtenus sur le Pts.58 de Mbeubeuss dans l'étude des conditions du milieu et les mécanismes de contamination. Les analyses granulométriques sont en cours.

Egalement au sein du puits contaminé il est prévu de suivre les variations des concentrations en nitrates sur une journée par des prélèvements réguliers d'eau en fonction de l'exploitation de l'ouvrage.

Dans cette perspective, on a programmé de développer un modèle de transfert hydrique et de solutés en milieu poreux non saturé avec le logiciel HYDRUS-2D. Ceci permettra d'estimer la recharge et la masse de soluté en zone non saturée. Les travaux de terrain en phase de prolongation ont permis de pouvoir définir certains paramètres hydrodynamiques (Conductivité hydraulique à saturation, teneur en eau à saturation, teneur en eau résiduelle, n et α).

L'étude de la contamination de la nappe en zone d'agglomération et sur la décharge de Mbeubeuss intègre également le dosage de certains métaux lourds qui sont des indicateurs de pollution en zone urbaine et industrielle. Après le terrain effectué en Octobre 2009, les échantillons sont envoyés au laboratoire d'hydrochimie de l'Université Technique de Graz pour le dosage du Zn, Cu, Hg, Pb, As et Cd.

4. Les différentes couches d'informations composantes du Système d'Information Géographique sur les Inondations de Dakar

La réalisation d'un SIG inondation Dakar a été l'un des objectifs principaux du projet. Par rapport aux résultats scientifiques générés, les différentes couches d'information ont alimenté le SIG permettant ainsi une visualisation et une superposition des données.

Le SIG conçu sera dynamique et offrira les possibilités de mise à jour du système, de consultation et de croisement des données. La cartographie de notre zone d'étude sera plus facile avec le choix de cartes thématiques et les possibilités de changements d'échelle.

L'élaboration d'un SIG dans le cadre de ce projet constitue une contribution de taille à la compréhension des inondations de Dakar et ouvre des perspectives intéressantes dans la recherche de solutions à ce type de catastrophe.

A l'issue des activités de sensibilisation dans les différentes Communes d'arrondissements et des ateliers de renforcement de capacité organisés pour les conseillers municipaux, il est prévu d'installer le SIG dans les Communes les plus touchées qui sera sous la supervision d'une équipe municipale.

Les couches d'informations intégrées dans le SIG sont les suivantes :

- Imagerie satellitaire Spot 4 et 5 calée sur l'image de référence datée du 23.10.2006,
- Images Landsat également calée sur l'image de référence,
- Cartes d'occupation du sol à différentes dates intégrant les différentes classes et catégories,
- Cartes d'occupation du sol à petite échelle avec le détail du bâti dense, du réseau routier, des différentes infrastructures,
- Cartes de changements dans l'occupation du sol dans le temps et dans l'espace avec un accent particulier sur le front bâti par rapport aux zones marécageuses humides,
- Cartes des limites administratives (Communes d'Arrondissement) sur les zones affectées;
- Cartes du réseau hydrographique ancien et système de drainage,
- Carte des bassins versants qui sont aujourd'hui aménagés,
- Cartes topographiques au 2000^e sur le bassin de Thiaroye,
- Les résultats du Modèle Numérique de Terrain en courbes de niveau,
- Les résultats du MNT du SRTM,
- Cartographie des zones inondées 1989, 2000, 1995, 2005,
- Cartes de risque d'inondation et de zones vulnérables,

Pour les données hydrogéologiques :

- Carte piézométriques à différentes périodes de l'année,
- Carte de profondeur de la nappe à différentes périodes de l'année,
- Résultats de cartographie des zones potentielles de recharge et de recharge de la nappe ;
- Résultats de calage du modèle hydrodynamique en régime permanent (1969),
- Résultats du calage en régime transitoire avec simulation d'arrêt de pompage ou variations de la recharge, comportement hydrodynamique au niveau des bas fonds ;

- Cartes d'occupation du sol calées sur la nappe et les ouvrages hydrogéologiques,
- Cartes de changements dans l'occupation du sol dans le temps et dans l'espace avec un accent particulier sur le front bâti notamment l'agglomération de Thiaroye et son impact sur la qualité des eaux souterraines,
- Cartes d'occupation du sol identifiant les sources de pollutions de surface en rapport avec les résultats isotopiques des nitrates et sulfates;

PARTICIPATION LOCALE

Promouvoir une approche participative reste un défi majeur de ce projet. En rapport avec cette thématique dès le début du projet, on a jugé nécessaire de cibler les localités les plus touchées, de se rapprocher des populations locales avec qui on doit se partager les résultats dudit projet.

Ainsi on a organisé plusieurs visites de terrains dans les zones inondées pour se rendre auprès des autorités locales présenter les objectifs du projet et les résultats escomptés et la nécessité d'élaborer des plans d'actions communes dans la recherche de solution aux problèmes posés.

Les actions suivantes ont été menées :

I. Séminaire de lancement (Première année du projet)

II. Action de l'ONG Enda / Rup en partenariat avec l'Equipe du Projet et les autorités municipales.

Dans le cadre de la participation locale ENDA-RUP (relais pour le développement urbain participe) partenaire du projet devait intervenir dans deux volets :

Volet I : « Identification des acteurs et analyse des contextes socio-économique et organisationnel » ;

Après la signature du protocole d'accord et du contrat à la date du 4 Janvier 2007 l'ONG Enda a réalisé le premier volet. Les termes de référence et l'échéancier de l'étude étaient définis par l'équipe du projet. **Le rapport définitif** de ENDA-RUP sur le volet I avait été remis sur le premier rapport technique. Il faisait l'inventaire, l'identification des acteurs locaux, l'analyse du contexte environnemental, économique, social, juridique et organisationnel des zones cibles.

Le volet II s'est entièrement réalisé durant la deuxième année. Il est intitulé :

« Diagnostic participatif avec les acteurs locaux par l'organisation de forum ou d'ateliers pour les activités de sensibilisation, d'information, de renforcement de capacités, d'élaboration de plan d'action concerté ».

Le chronogramme et le plan d'action ont été donnés dès le démarrage de cette phase. Comme pour le premier volet des séances de travail tenues avec le personnel de ENDA et l'équipe du projet ont permis d'établir les termes de référence, l'échéancier et le budget des différentes activités prévues (**Annexe VI**) :

1. Atelier de restitution et de sensibilisation aux collectivités locales sur les résultats Préliminaires du projet

L'atelier s'est tenu le 24.07.08 à la commune d'arrondissement de Yeumbeul Nord. Cette manifestation tenue devant les autorités administratives, les élus locaux, les chercheurs, les professionnels de la santé, du service d'hygiène national et les d'organisations communautaires de base rentre dans le cadre des activités de restitution, de valorisation et de transfert des résultats de la recherche en direction des décideurs et du grand public. **Mr. GAMOU FALL, Maire de la commune d'Arrondissement de Yeumbeul Nord** ainsi que ses collaborateurs ont été d'un grand apport pour la tenue de cet Atelier.



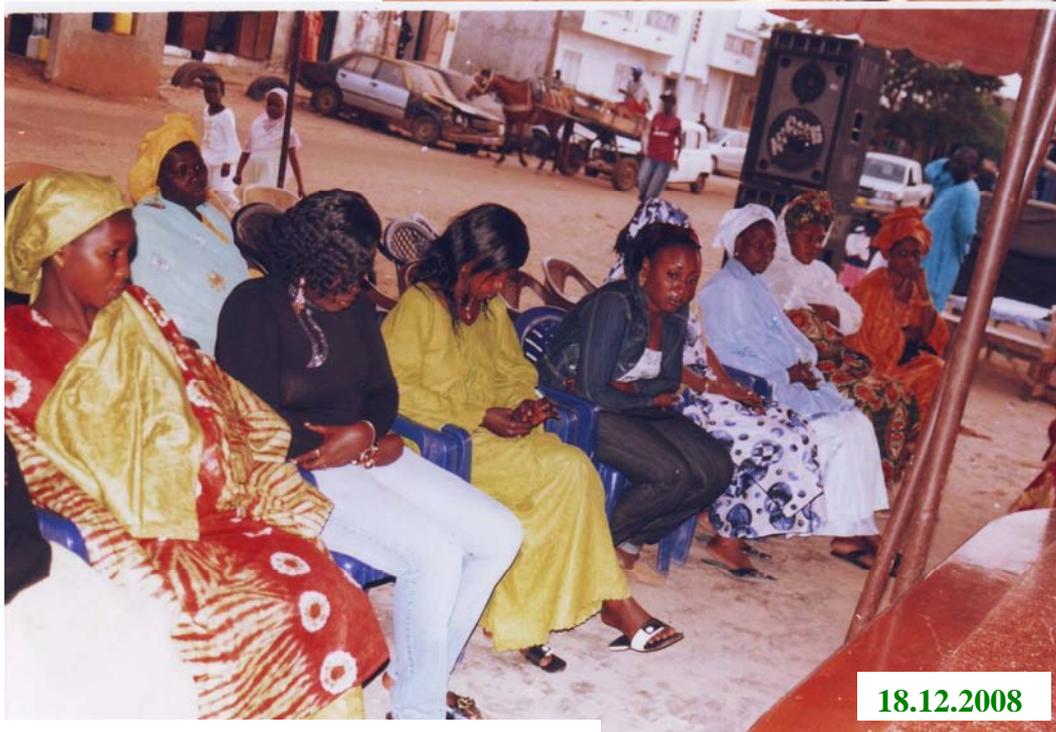
ATELIER DE RESTITUTION

24.07.2008



MOBILISATION SOCIALE YEUMBEUL NORD

14.01.2009



MOBILISATION SOCIALE DJIDDAH THIAROYE

18.12.2008

**Collectif des Associations
pour le Développement de
Djiddah Thiaroye Kao
CADDTK**
*Tally Nietty Mbars
Quartier Mousdalifa 4 Malao
DIOP
En face Mosquée Imam
Kairé
BP:18226 Pikine Sénégal
Tel (221)853-00-62
[http://www.web-
africa.org/cadtk/index.htm](http://www.web-africa.org/cadtk/index.htm)*

2. Atelier de renforcement de capacités en communication pour le changement de comportement et d'élaboration de plan d'action concertés :

Pour décentraliser nos activités cet atelier s'est tenu à la Mairie de Pikine Nord le 18.12.08. L'atelier a vu la participation des conseillers municipaux, des Organisations Communautaires de Base, de Groupement de femmes et de jeunes. Il a surtout permis un renforcement de capacité avec la formation et sensibilisation d'un public ciblé qui va organiser sous la supervision de ENDA-RUP et de l'équipe du projet des séances de sensibilisation au niveau des populations.

3. Activités de sensibilisation et de planification dans trois secteurs intercommunaux dans la période du 28 décembre 2008 -14 janvier 2009 :

- Thiaroye Djiedah Kao / 27.12.2008
- Guinaw Rail Nord / 10.01.2009
- Yeumbeul Nord / 14.01.2009

Un rapport définitif sur le déroulement des activités du volet II a été remis par l'ONG ENDA durant ce mois de Janvier 2009. Le document met en œuvre et de manière exhaustive une synthèse et capitalisation de toutes les manifestations du volet II. Le rapport sera donné avec ce document.

III. Séminaire de restitution finale

Ce séminaire de restitution finale a été organisé le 19 Novembre 2009 par l'équipe de recherche du projet à la maison de la *culture DOUTA SECK à Dakar*. L'atelier a surtout permis de présenter les résultats du projet et a vu la participation de tous les partenaires du projet et des structures étatiques (Directions nationales, Agences, Sociétés) travaillant sur la problématique des inondations à Dakar. La participation de la Mairie de **Yeumbeul Nord** qui avait parrainé le projet et d'autres collectivités locales, des Organisations Communautaires de Base et des ONG, a permis d'apprécier l'implication des populations. Le séminaire s'est déroulé suivant des communications et des présentations de Poster suivies d'une discussion générale et d'une synthèse travaux.

Conférer à (Annexe I : Rapport de Synthèse):

5. EXECUTION ET GESTION DU PROJET

Durant la phase 2 et la période de prolongation, le financement du projet a permis les activités suivantes :

1. Acquisition de matériel

- Flacons d'échantillonnage de la société FUMOA (Dakar/Sénégal)
- Membranes filtrantes stériles en nitrate de cellulose, à diamètre 47 mm et porosité 0.45µm et 0.20µm.
- Pièces de rechange pour le spectrophotomètre DIONEX (Compagnie **DIONEX USA**) : (**Voir Annexe VII**)
- Matériel bureautique (Papeterie, stylos, crayons, marqueurs, cartouche encre)
- Analyses isotopiques non réalisables à Dakar.
- Dosage des métaux lourds (Zn, Pb, As, Cu, Cd, Hg) à l'Université technique de GRAZ/Autriche durant la période de prolongation.

2. Activités de terrain

Cinq missions sur le terrain ont été réalisées durant la deuxième année du projet :

➤ **Mission I :**

Période : 16.02 – 01.03. 2008

Personnel : Un technicien du ministère de l'hydraulique et l'équipe d'hydrogéologie du Projet.

Objectifs : Mesure piézométrique, Echantillonnage post-hivernage 2007.

Méthodes : Mesure du niveau statique de la nappe avec une sonde sonore.

Avant l'échantillonnage chaque point de prélèvement a fait l'objet de pompage avec une pompe GRUNDFOS à 10 l/s de débit jusqu'à une stabilisation des paramètres physico-chimiques. On procède après à l'échantillonnage d'une eau bien représentative de la nappe dans des flacons en polyéthylène qui seront conservés et transportés au laboratoire pour analyse chimique.

Données obtenues: Paramètres in situ (pH, profondeur de la nappe, conductivité électrique, température). Les échantillons ont par la suite été analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie par chromatographe ionique et les résultats sont donnés en **Annexe II**.

Problèmes : 35 points seulement étaient fonctionnels des 45 points identifiés en 2006.

➤ **Mission II :**

Période : 08.04 – 17.04. 2008

Personnel : Deux techniciens de la **Direction des Travaux Cartographiques et Géographiques**, l'équipe d'hydrogéologie dont les étudiants en **D.E.A.**

Objectifs : Pour le redressement de l'image SPOT-5 du 23.10.2006 par rattachement de 22 points choisis sur l'image au **Réseau de Référence du Sénégal (RRS04)** dans la région de Dakar.

Méthodes : Avec 2 GPS différentiel bi-fréquence (6002-DSNP et 6502-DSNP) on a effectué les enregistrements sur le terrain. Le logiciel 3 S-PACK (Satellite Survey Software Package) a été utilisé pour le traitement des données GPS.

Données obtenues : Le rapport de mission est donné en **Annexe VIII**.

Les données altimétriques des 22 points de rattachement ont été également intégrés au semis de points du MNT.

➤ **Mission III :**

Période : 27.06.08 – 21.10. 2008

Personnel : Un agent des services de la Météorologie Nationale Dakar et un étudiant en D.E.A .

Objectifs : Sur 8 stations (Dakar Yoff, Dakar Hann, Kayar, Bambilor, Bel Air, Zac Mbao, Guédiawaye, Thiaroye) définies dans Dakar on a effectué des collectes d'eau de pluie de l'hivernage 2008. La composition chimique et isotopique des eaux de précipitation dans Dakar va permettre de définir le signal d'entrée à la nappe.

Méthodes : Collecte sur pluviomètre pour avoir la quantité des précipitations totales sur les pluies ponctuelles.

Données obtenues: Analyses chimiques et isotopiques.

➤ **Mission IV :**

Période : 27.08-05.06 2008

Personnel : Deux agents de la Direction des Travaux Cartographiques et Géographiques (DTGC), un agent du Centre de Suivi Ecologique (CSE) et l'équipe du projet.

Objectifs: Durant l'interprétation des images et exécution de cartes thématiques, cette mission était organisée pour une validation, contrôle, vérification, reconnaissance.

Méthodes: Interprétation visuelle d'images et de photos.

Données obtenues: Différentes cartes thématiques dont une carte récente d'occupation du sol de Dakar (2006).

➤ **Mission V :**

Période : 17.09.08 – 24.11. 2008

Personnel : L'équipe d'hydrogéologie du projet, un étudiant en Master à Rhur University Bochum.

Objectifs : a) Mesure piézométrique, Echantillonnage post-hivernage 2008.

b) Exécution de profil en zones non saturées dans le site de Mbeubeuss (Puits 58) pour l'étude des variations et changements des teneurs en nitrates autour du puits 58 qui est contaminé.

Méthodes : Pour les mesures du niveau statique de la nappe et l'échantillonnage sont les mêmes méthodes utilisées lors de la mission I.

Durant la deuxième phase de cette mission, les profils en zones non saturées sont réalisés avec une tarière manuelle constituée de colonnes de 1m qu'il fallait rallonger selon la profondeur de la zone capillaire. Le prélèvement de sol dans les formations traversées s'est fait sur un pas de 0.25m dans les premiers deux mètres qui définissent la zone racinaire et 0.50m au-delà de cette zone jusqu'à la zone capillaire de la nappe. Après pesage, environ 200g de sol sont prélevés sur chaque échantillon et conservés dans des sachets en plastique stériles avant d'être transportés au laboratoire.

Données obtenues: Paramètres in situ (pH, profondeur de la nappe, conductivité électrique, température) (Voir ANNEXE IV). Les échantillons ont par la suite été analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie par chromatographe ionique et les analyses chimiques sont en cours.

Un total de 4 profils (MbS2, MbS6, MbS5b, MbS7b) a été réalisé sur le site de Mbeubeuss au puits 58. Les données d'humidité sont déjà en exploitation, par contre les analyses chimiques sur les eaux interstitielles **sont en cours**.

Sur le période de prolongation du projet (Juin – Octobre 2009) trois missions de terrains ont été effectuées :

➤ **Mission I :**

Période : 15 – 27 Juin

Personnel : L'équipe d'hydrogéologie du Projet dont un étudiant en Master.

Objectifs : Campagne pré hivernale 2009 pour des mesures piézométriques, et l'échantillonnage des eaux de la nappe.

Méthodes : (Voir les campagnes précédentes)

Données obtenues: Paramètres in situ (pH, profondeur de la nappe, conductivité électrique, température). Les échantillons ont par la suite été analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie par chromatographe ionique et les résultats sont donnés en **Annexe V**.

➤ **Mission II :**

Période : 10 – 20 Août :

Personnel : L'équipe d'hydrogéologie du Projet dont un étudiant en Master.

Objectifs : Exécution de 4 profils en zone non saturée autour du puits de Mbeubeuss pour l'étude de l'évolution des nitrates en zone non saturée en fonction des conditions du milieu. Egalement pour définir les paramètres hydrodynamiques du sol qui sont des données d'entrée du modèle de transfert hydrique et de soluté en milieu poreux non saturé.

Méthodes : Les profils sont effectués avec une tarière manuelle de la **Eijkelkamp Agrisearch Equipment**

Données obtenues: Echantillons de sol à différents niveaux qui sont en cours de traitement (Granulométrie, conductivité hydraulique à saturation, teneur en eau à saturation, teneur en eau résiduelle, n et α).

➤ **Mission III :**

Période : 25 - 31 Octobre :

Personnel : L'équipe d'hydrogéologie du Projet dont un étudiant en Master.

Objectifs : Campagne post hivernale pour des mesures piézométriques, et l'échantillonnage des eaux de la nappe pour le dosage des métaux lourds: Hg, Zn, As, Cu, Cd, Pb.

Méthodes : (Voir les campagnes précédentes)

Données obtenues: Paramètres in situ (pH, profondeur de la nappe, conductivité électrique, température). Les échantillons ont par la suite été analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie par chromatographe ionique et les résultats sont donnés en **Annexe V**.

3. Travail de laboratoire:

Le travail de laboratoire concerne les analyses chimiques des eaux prélevées sur la nappe, des eaux interstitielles et des eaux de pluies et le traitement des échantillons de sol sur les profils réalisés en zone non saturée.

➤ Analyses Chimiques:

Elles ont permis de déterminer au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie avec un chromatographe ionique les anions majeurs (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) et cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}); par titration on a dosé les ions CO_3^{2-} et HCO_3^- .

➤ Traitement des échantillons de sol:

Le traitement de ces échantillons au laboratoire s'est effectué durant le mois d'octobre 2008 comme suit :

A. Détermination du taux d'humidité des échantillons de sol

Méthodologie: Pour cela une quantité de sol connue, sera pendant quatre heures de temps passée à l'étuve à 105°C jusqu'à avoir un poids constant. L'humidité est obtenue avec la formule suivante:

$$\text{H\%} = \left(\frac{\text{Poids humide} - \text{Poids sec}}{\text{Poids sec}} \right) * 100$$

B. Lixiviation :

C'est pour la détermination des concentrations d'ion majeur dans les eaux interstitielles du sol par chromatographe ionique.

Méthodologie : La lixiviation consiste à prélever pour chaque échantillon de sol non traité et pas contaminé 50g de le mélanger à 100 ml d'eau distillée dans un bescher avec barreau aimanté et le tout est placé sur une table agitateur durant 2heures sans interruption. Ce mélange sera recueilli et laissé en décantation, puis le surnageant obtenu est filtré avec des membranes filtrantes stériles en nitrate de cellulose, à diamètre 47 mm et porosité $0.45\mu\text{m}$.

Les problèmes qui se sont posés sont surtout liés à l'utilisation des filtres de $0.45\mu\text{m}$ de porosité vu la nature argileuse de certains échantillons de sol. Ce qui nous a emmené à placé certains échantillons à la centrifugeuse pour une meilleure décantation du lixivié. Après filtration, c'est le lixivié qui est recueilli dans des flacons en polyéthylène de 50 ml qui sera analysé au chromatographe ionique.

Toutes les valeurs brutes obtenues du dosage seront corrigées par un facteur de dilution.

Ce traitement doit se poursuivre au département de Géologie et au CEREQ.

➤ Problèmes d'orientation avec les données obtenues en zones non saturées:

Pour cette étape et compte tenue de la non représentativité des résultats sur les nitrates obtenus lors de la première année avec les profils réalisés (oxydation due à une mauvaise conservation durant 5 mois), on a du refaire 4 profils sur le site contaminé de Mbeubeuss. Ce travail permettra de doser avec plus de précision les nitrates, chlorures et sulfate sur un nombre d'échantillon réduit donc destiné unique à l'étude des mécanismes de contamination de la nappe.

Ainsi la détermination des chlorures sur les profils réalisés lors de la première année particulièrement sur les parties stationnaires, permettra la détermination du paramètre (Cs) qui donne la concentration moyenne des chlorures en zone non saturée pour l'évaluation de la recharge par méthode du bilan des chlorures.

4. Participation locale

Dans le cadre du volet II intitulé : « *Diagnostic participatif avec les acteurs locaux par l'organisation de forum ou d'ateliers pour les activités de sensibilisation, d'information, de renforcement de capacités, d'élaboration de plan d'action concerté* ».

les activités suivantes ont été financées par le projet :

➤ **Atelier de restitution et de sensibilisation aux collectivités locales sur les résultats Préliminaires du projet**

L'atelier s'est tenu le 24.07.08 à la commune d'arrondissement de Yeumbeul Nord.

Le projet avait pris en charge la restauration, les perdiuims de transport. Les dépenses annexes et la papeterie tandis que la salle était mise à notre disposition par la mairie de même qu'un certain nombre de facilités.

➤ **Atelier de renforcement de capacités en communication pour le changement de comportement et d'élaboration de plan d'action concertés :**

Pour décentraliser les activités, cet atelier s'est tenu à la Mairie de Pikine Nord à la date du 18.12.08. Il a vu la participation des conseillers municipaux, Organisation Communautaires de Base, Groupement de femmes et de jeunes.

Le projet avait pris en charge la restauration, les perdiuims de transport. Les dépenses annexes et la papeterie tandis que la salle était mise à notre disposition par la mairie de même qu'un certain nombre de facilités.

L'atelier a permis la formation et sensibilisation d'un public ciblé qui se chargerait d'organiser des séances de sensibilisation au niveau des quartiers.

➤ **Activités de sensibilisation et de planification dans trois secteurs intercommunaux dans la période du 28 décembre 2008 -14 janvier 2009 :**

- Thiaroye Djiedah Kao / 27.12.2008
- Guinaw Rail Nord / 10.01.2009
- Yeumbeul Nord / 14.01.2009

En ce qui concerne ces séances de sensibilisation, le projet avait dégagé une enveloppe pour chaque groupement responsable de l'organisation. Ce qui va permettre de couvrir quelques dépenses comme la sonorisation, la papeterie et la mobilisation.

Le budget des toutes les activités du volet II est donné en **Annexe IV**.

➤ **Séminaire de restitution finale**

L'atelier de restitution finale a été organisé le 19 Novembre 2009 par l'équipe de recherche du projet à la maison de la culture DOUTA SECK à Dakar.

Ce séminaire de restitution finales des résultats du projet a permis le partage des résultats obtenus avec les partenaires, les autorités et la communauté scientifique.

Dans le cadre des dépenses, le projet a pris en charge la location de la salle de conférence et les accessoires, l'impression des posters, plaquettes portant sur les résultats, la restauration et les perdiuims pour le transport des participants.

5. Téledétection / SIG

A. DONNEES ACQUISES

Pour atteindre les objectifs du projet, notamment pour élaborer le SIG Inondation Dakar, en plus des images SPOT acquises durant la première année du projet, on a jugé nécessaire d'acquérir d'autres images sur la zone. Les images Landsat- 5 et Landsat-7 vont compléter les séries déjà existantes au centre de suivi écologique (CSE). A Spot image France et par l'intermédiaire de leur bureau régional pour l'Afrique de l'Ouest en Mauritanie avec le financement du projet on a pu acheter les scènes suivantes :

➤ Données financées par le projet :

- Images SPOT Couleur 10m de Résolution (09/2005)
- Images SPOT Couleur 10m de Résolution (10/2006)
- Images SPOT Panchromatique 2,5 m de Résolution (10/2006)
- Images Landsat – 5 15m de Résolution (09/1989)
- Images Landsat – 7 15m de Résolution (10/2000)

➤ Données Acquisées dans le cadre du partenariat avec le Centre de Suivi Ecologique Dakar (CSE)

DONNEES RASTER : Photos Aériennes			
Dénomination/Type de Données	Photo Aérienne	Photo Corona	Photo Aérienne IGN FRANCE
Dates	04.1942	02.1966	1978
Echelles	1/60000	1/20000	1/60000
Echelles de sortie	1/50000	1/50000	1/50000
Géodésique	Wgs 84, UTM 28	Wgs 84, UTM 28	Wgs 84, UTM 28

DONNEES RASTER : Images SPOT			
Date	Mode	Résolution	Saison
04.86	XS + P	10m	Sèche
12.95	XS + P	10m	sèche
04.99	XS + P	10m	sèche
10.2002	XS + P	5m	sèche

DONNEES RASTER : Images landsat			
Date	Mode	Résolution	Saison
05.73		60m	Sèche
10.84		30m	sèche
11.88		30m	sèche
11.91	Panchro	15m	sèche
04.94	Panchro	15m	sèche
05.2001	Panchro	15m	sèche
09.2002	Panchro	30m	Pluie

DONNEES VECTEURS			
Dénomination/Type de Données	Date	Format	Echelles
Occupation de sol	1978, 1986, 1995, 1999	Numérique	1/50 000
Changement dans l'occupation des sols	1978-1986 1986-1995 1995-1999 1978-1999	Numérique	1/50000
Feuilles topographiques		Numérique (Scannées)	1/1000
Occupation de sol (JICA)	1989	Numérique	1/50 000

➤ **Données vecteurs financées par le projet auprès de la Direction des travaux Cartographiques et Géographiques (DTGC)**

DONNEES VECTEURS			
Dénomination/Type de Données	Date	Format	Echelles
Occupation de sol (JICA)	1989	Numérique	1/50 000
Cartes Topographiques	1983	Copie dure	1/50000
Feuilles topographiques		Numérique (Scannées)	1/2000
Feuilles topographiques		Numérique (Scannées)	1/5000
Cartes Topographiques	1983	Copie dure	1/200000

B. TRAITEMENT DES DONNEES:

La base de données satellitaire acquise et présentée ci-dessus a fait l'objet d'un traitement pour procéder à une meilleure interprétation visuelle basée sur la distribution des teintes, la texture, la structure et l'environnement des objets. Le traitement se résume aux étapes suivantes :

▪ **Rehaussement de l'Image :**

Un rehaussement spatial des images multispectrales couleurs dont la résolution est portée de 10m à 2.5m, a été opéré à partir de l'image Panchromatique noir-et-blanc à 2.5m de résolution. C'est par la technique de fusion qu'a été effectué ce rehaussement à l'aide du logiciel **ERDAS 9.1**.

Interpreter → **Spatial Enhancement** → **Resolution merge** → **fusion**

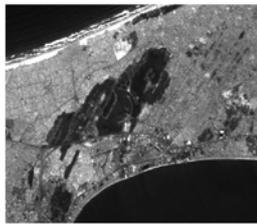


Image panchro (2,5m)



Image couleur (2,5m)



Image multispectrale couleur (10m)

Les corrections radiométriques et les rehaussements de contraste ont permis d'améliorer la qualité de l'image et de voir par photo-interprétation le potentiel réel de l'imagerie SPOT très haute résolution (THR).

- Redressement de l'Image SPOT-5 du 23/10/2006

Ce travail a été effectué en collaboration avec les services de la **Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC)**. Un rattachement au **Réseau de Référence du Sénégal (RRS04)** de 22 points GCPs (Grounds Control Points) choisis et identifiés sur le terrain dans la région de Dakar s'est opéré. Deux GPS différentiel bi-fréquence (6002-DSNP et 6502-DSNP) ont été utilisés sur le terrain. Le logiciel 3 S-PACK (Satellite Survey Software Package) a permis le traitement des données GPS.

La projection associée est **UTM Nord Fuseau 28 (Voir Annexe VIII)**.

Sur la base des 22 points de contrôle repérés sur le terrain et identifiés sur l'image, le logiciel ERDAS a permis la correction géométrique de l'image avec le module polynomial d'ordre 1 et le RMSE (Root Mean Square Error) est de **0,48**.

Ce modèle sur lequel on a effectué les corrections (**Image SPOT-5 du 23/10/2006**) a été pris comme référentiel et toutes les autres images utilisées dans le cadre de ce projet ont été calées par rapport à ce modèle.

- Photo-interprétation

Après ces 2 premières étapes, on a procédé à l'interprétation visuelle des images pour identifier les classes selon la distribution des niveaux de teinte, la texture et la structure. L'interprétation s'est faite directement avec le logiciel **ARC GIS 9.2** pour produire les données vectorielles relatives à la thématique (classes d'occupation du sol) et à la planimétrie (réseau hydrographique, zone humides, réseau routier, etc.). Les couches SIG obtenues permettront de réaliser les cartes d'occupation du sol à différentes dates.

Une phase de validation et de reconnaissance de certains sites choisis sur l'image s'en est suivie par des sorties de terrain. Ces sorties ont été mises à profit pour collecter plus d'informations sur l'occupation des terres.

▪ Evolution de l'occupation du sol

Dans cette analyse et par rapport aux thèmes de recherche du projet notre objectif principal est de mettre en évidence les changements intervenus dans le mode d'occupation du sol, d'abord avec un intérêt particulier pour les surfaces en eau libre et les zones humides (thème inondation) et ensuite pour la zone d'agglomération urbaine mal assainie ou est localisé le champ captant de Thiaroye (thème pollution de la nappe urbaine).

Pour la détection des changements, les vecteurs issus de l'interprétation seront combinés deux à deux pour obtenir une image résultante (classification croisée) et une matrice des changements (tabulation croisée). L'image résultante fournit pour chaque pixel la classe dans l'année la plus ancienne ainsi que la classe dans l'année la plus récente. Les couches SIG qui en résulteront permettront de réaliser les cartes de changement sur différentes périodes.

La matrice fournit pour chaque classe le nombre de pixel de l'année la plus ancienne resté dans la même classe ou passé dans une autre classe.

Les cas de figures suivants peuvent se présenter :

- Modification
- Conversion
- Zone sans changement

6. Apport du partenariat établi avec différentes institutions dans l'exécution du projet

➤ Partenariat avec le Centre de Suivi Ecologique

Le Partenariat avec le Centre de Suivi Ecologique a été d'un grand apport pour le projet, d'abord dans la formation grâce à un stage de 8 mois de nos trois étudiants, mais également pour leur expertise dans la réalisation des activités du projet.

L'expertise du CSE a permis l'encadrement des étudiants en SIG et Télédétection.

Cette collaboration nous a également permis l'acquisition de logiciels et d'équipement pour le traitement de nos données.

Une base de données a été mise à contribution pour compléter les éléments de l'étude.

➤ Partenariat avec la (Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques) DTGC

Cette collaboration a également été très bénéfique dans l'exécution du projet, car elle a permis de mener certaines activités de terrain mais également d'accéder à certaines données altimétriques sur Dakar.

➤ Partenariat avec la (Direction de la Gestion et Planification des Ressources en Eau) DGPRE

La collaboration a été d'un grand apport dans les missions hydrogéologiques de pompage et d'échantillonnage.

➤ Collectivités locales

Les autorités locales nous ont permis de tenir certaines activités comme ateliers, séminaires dans leurs communes et en nous accordant certaines facilités.

Nous tenons surtout à remercier la collaboration de la Commune d'Arrondissement de Yeumbeul Nord, son Maire Mr. GAMOU FALL et ses collaborateurs dans l'exécution des activités et la mise en contact avec les populations locales.

Concernant les partenaires extérieurs, faut signaler que la collaboration qui date depuis longtemps avec différentes universités et centres de recherche a été d'un appui considérable dans l'exécution du projet, l'acquisition de certains résultats et dans la formation . On peut ainsi citer:

➤ L'Université de Bochum en Allemagne : "*Institute of Geology, Mineralogy and Geophysics / Faculty of Earth Sciences / Ruhr University Bochum, Germany*" .

Le Prof. Dr. Stefan Wohnlich responsable de la section Hydrogéologie de cette université a bien voulu superviser les travaux d'un doctorant dans le cadre du projet, en l'accueillant dans son laboratoire à Bochum, accompagnant les travaux de terrain à Dakar et prenant en charge le dosage des éléments traces qui ne peut pas se faire à Dakar. Ce partenariat avec l'UCAD a été établi depuis les travaux de thèse du Dr. Seynabou Cissé Faye Responsable du Projet CRDI / UQAM.

➤ GSF Research Centre for Environment and Health of Munich : "*Institute of Groundwater Ecology / Neuherberg / Munich, Germany*".

Le partenariat développé par le département de Géologie avec ce centre de recherche depuis les travaux du Dr. Serigne Faye dans le cadre de sa thèse d'Etat a permis la mise à contribution d'analyses d'isotopes stables (^{18}O , ^2H , ^3H).

➤ Joanneum Research Centre of Graz Austria : "*Institute of Water Resource Management (WRM) Hydrogeology & Geophysics Graz / Austria*

La collaboration avec le centre de recherche de Graz a également permis dans le cadre du projet de faire certaines analyses isotopiques (^{34}S , $^{18}\text{O-SO}_4$, ^{11}B) et le dosage des métaux lourds pour compléter notre étude.

Gestion du Projet

En ce qui concerne la gestion du projet dans la deuxième année, nous signalons déjà que les difficultés rencontrées tout au début ont été aplanies suite à une bonne médiation de Mr. Alioune Camara (**CRDI / Bureau régional de Dakar**) et du Professeur **Cheikh Bécaye Gaye** du Département de Géologie et surtout de la compréhension des acteurs (Bénéficiaires et gestionnaire).

Mais également la nomination d'un nouveau Directeur à la coopération Internationale de L'UCAD le Pr. **Alioune Dièye** et la désignation de **Mr. IBRA NIANG FAYE** comme gestionnaire du Projet a beaucoup facilité le déroulement des activités durant cette deuxième année.

L'administration du projet aussi bien au niveau local (UCAD) qu'au niveau de l'UQAM surtout n'a connu aucun impair quand au bon déroulement des activités de recherche et toutes les phases prévues pour les deux années ont été exécutées selon les termes du protocole d'accord.

La phase de prolongation de Juin à Novembre 2009 a permis de dérouler un certain nombre d'activités et surtout d'acquérir des données complémentaires qui sont essentiellement des données hydrogéologiques.

6. EXTRANTS DU PROJET ET DIFFUSION DES RESULTATS

Les résultats du projet ont facilité la compréhension générale des phénomènes étudiés. Ils constituent une contribution de taille à la compréhension des phénomènes d'inondations urbaines à Dakar et sont mis à la disposition des décideurs pour servir d'outil d'aide à la décision et à la gestion des catastrophes naturelles. Diverses activités de transferts et diffusion des résultats ont été menées dans le cadre du projet :

➤ **Echanges et diffusion de l'information :**

- L'atelier de lancement du projet à Yeumbeul Nord et qui a eu à regrouper les Elus locaux, les agents des ministères concernés par les problèmes des inondations, l'équipe du projet, rentre dans le cadre de valorisation des résultats de la recherche.

- L'élaboration du SIG – Inondation – Dakar avec les différentes couches d'informations (Voir les éléments du SIG) et son installation en cours dans les Communes d'Arrondissement les plus touchées (Yeumbeul Nord et Sud, Thiaroye Dieddah Kao, Ganaw Rail, Thiaroye sur Mer) vont permettre une meilleure compréhension des phénomènes d'inondation.

- Les ateliers de sensibilisations (Pour un changement de comportement) avec le grand public (Imam, délégués de quartier, chefs coutumiers, regroupement de femme, organisation communautaires de base, mouvements associatifs...) tenus dans différentes localités ont permis d'aborder certains thèmes liés à la qualité des eaux de la nappe, son niveau de détérioration et les nuisances que peuvent engendrer son utilisation à travers les puits et les pompes «Diambars» par les populations locales. L'équipe du projet s'était engagée à coté de ENDA/RUP a animé ces manifestations en animant les discussions et en présentant des communications.

- Séminaire de restitution finale
L'atelier de restitution finale a été organisé par l'équipe de recherche du projet à la maison de la culture DOUTA SECK à Dakar a permis le partage des résultats obtenus avec les partenaires et les institutions étatiques et les ONG en charge des problèmes d'inondations urbaines à Dakar et surtout avec la communauté scientifique et les décideurs et différentes autorités. Ces résultats étaient également partagés avec les populations locales fortement représentées par les organisations communautaires de base.

L'ampleur et l'importance des résultats obtenus dans le cadre du projet et sur les différents thèmes de recherche ont valu plusieurs communications (**Annexe IX**) à des conférences internationales :

- **Workshop International : « L'outil Spatial pour la Gestion des Catastrophes et des Situations d'Urgence en Afrique » *Aspect Techniques, Organisationnels et Juridiques . Rabat, Maroc 10-12.Novembre 2008***

Site :

<http://www.enssup.gov.ma-craste-media-Programme.pdf.url>

Titre : **Téledétection de la dynamique de l'occupation du sol dans la région de Dakar (Sénégal): Impact sur les catastrophes d'inondation urbaine**
S. Wade*, S. Faye**

- *Troisièmes Journées d'Animation Scientifique du Réseau de Téledétection de l'AUF : Du 8 au 11 Novembre 2009, USTHB, Alger.*

Titre : **Téledétection des catastrophes d'inondation urbaine : Le cas de la région de Dakar.**
Wade*, S. C. Faye, M. Dieng, M. Kaba, N.R. Sow, S. Faye**

- **International Symposium : « Coupling Sustainable and Groundwater Protection »** *Hannover, Germany 14-17 October 2008*

Site : [BGR Coupling Sustainable Sanitation and Groundwater Protection.url](http://BGR.Coupling.Sustainable.Sanitation.and.Groundwater.Protection.url)

Intitulé Présentation I :

IMPACT OF LAND USE ON GROUNDWATER QUALITY IN THE THIAROYE UNSEWERED SUBURB (DAKAR SENEGAL): Remote Sensing and GIS approach

S. Cissé Faye¹, N.R. Sow¹, N.M. Dieng¹, M.Kaba¹, O.C.Diouf¹, O. Bocoum², S. Faye¹

Intitulé Présentation II :

EVIDENCE OF IMPROPER SANITATION ON GROUNDWATER QUALITY IN THE THIAROYE AQUIFER, DAKAR SENEGAL: AN ISOTOPIC APPROACH

M. Diédhiou^{1,2}, S. Cissé Faye², S. Faye², U. Schulte and S. Wohnlich¹

- **International Workshop: « Towards new methods to manage nitrate pollution within the water Framework Directive »
10 & 11 December, 2009 UNESCO – PARIS.**

USE OF $\delta^{15}\text{N}$ AND $\delta^{18}\text{O}$ - NO_3 ISOTOPES AS INDICATORS OF NITRATE SOURCES IN THE QUATERNARY SAND AQUIFER OF THIAROYE (DAKAR, SENEGAL)

¹S. Cissé Faye; ²V. Re; ¹M. Diedhiou ; ¹O. C. Diouf; ¹S. Faye; ¹C.B. Gaye; A. Faye; S. Wade, ³S. Wohnlich

Pour la publication des résultats, nous notons également que trois mémoires de Master ont été soutenus dans le cadre du projet au Département de Géologie sous la direction de l'équipe d'hydrogéologie, du Centre de Suivi écologique et du laboratoire de Télédétection Appliquée de l'Institut des Sciences et de la Terre :

- *Mémoire I : « Analyse des risques hydrologiques avec l'imagerie Satellitaire optique : cas des inondations dans la région de Dakar ».*

Mémoire soutenu par : M^{lle} Ndèye Maguette Dieng

Date : 01.08.2009.

- *Mémoire II : « Impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources en eau dans la région de Dakar : Approche par Télédétection et SIG »*

Mémoire soutenu par : M^{lle} Nafi Racine Sow

Date : 03.08.2009.

- *Mémoire III : « Evaluation des zones potentielles de recharge de la nappe de Thiaroye : Approche cartographique par télédétection & Systèmes d'Informations géographiques ».*

Mémoire soutenu par : M^{lle} Mariama Kaba

Date : 20.11.2009

- Les Mémoires et Communication déjà présentées font actuellement l'objet d'un travail plus détaillé et complet intégrant les derniers résultats en vue d'une publication scientifique dans des revues internationales.

Les trois papiers en cours de réalisation portent sur les thèmes :

- Inondation
- Pollution et Urbanisation
- Processus de dénitrification en milieu souterrain.

➤ **Formation :**

Plusieurs actions de formation et d'encadrement ont été menées durant ce projet :

▪ **Formation de courte durée :**

La mise en stage des étudiants dans les institutions participantes à ce projet comme le Centre de Suivi Ecologique et le Laboratoire de Télédétection Appliquée de l'Institut des Sciences et de la Terre (IST) a contribué à l'exécution du projet et à atteindre les objectifs.

▪ **Direction de Master et Thèse :**

Sous l'encadrement d'une équipe Enseignante du Département de Géologie de l'Université de Dakar présentée comme suit :

- **Pr. Cheikh Bécaye Gaye**, Dpt Géol/FST/UCAD, Hydrogéologie/Géochimie isotopique
- **Dr. Serigne Faye**, Maître de Conférences, Dpt Géol/FST/UCAD, Hydrogéologie/Hydrochimie /Modélisation
- **Dr. Abdoulaye Faye**, Maître de Conférences, Dpt Géol/FST/UCAD Hydrogéologie/Hydrochimie
- **Dr. Souleye Wade**, Maitre-Assistant, LTA / IST / FST/UCAD
- **Dr. Seynabou Cissé FAYE**, Maitre-Assistante, Dpt Géol/FST/UCAD (**Chercheur Principal du Projet**), Hydrogéologie, Vulnérabilité à la pollution des aquifères urbains, SIG

Egalement faut noter que les travaux en cours ont bénéficié des moyens, de l'environnement scientifique et du partenariat développé dans le cadre du projet :

- *Thèse de Doctorat d'Etat* en Hydrogéologie «*Etude de l'impact d'une urbanisation rapide sur les ressources en eau souterraine : Cas de la région de Dakar, Sénégal* ». Dr. CISSE FAYE Seynabou

- *Thèses de 3^{ème} Cycle* « *Apport des outils isotopiques à l'identification et aux mécanismes de pollution de la nappe de Thiaroye* » Mathias DIEDHIOU

- *Thèses de 3^{ème} Cycle* « *Apport de la télédétection et des SIG dans la gestion des risques hydrologiques : cas des inondations de la région de Dakar* » Ousmane Coly DIOUF

7. RENFORCEMENT DE CAPACITE:

- L'un des objectifs du projet est de contribuer, par la formation, l'éducation et la recherche, au développement et au renforcement des capacités en Télédétection / SIG appliqués à la gestion des catastrophes naturelles et aux études d'impacts environnementaux des membres du département de Géologie.

L'appui des institutions comme le Centre de Suivi Ecologique et le Laboratoire de Télédétection Appliquée a permis la formation des étudiants en Télédétection / SIG pour le compte de leurs travaux de recherche.

- Les travaux de terrain menés conjointement avec les équipes de la Direction de la Gestion et Planification des Ressources en Eau (**DGPRE**) et de la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (**DTGC**) ont été d'un grand apport en techniques d'investigations pour les étudiants.

- Les séjours des Thésards Mathias Diedhiou et Ousmane Coly Diouf à l'Université de Bochum en Allemagne ont surtout servi de boucler les dossiers analytiques.

- La démarche méthodologique novatrice intégrant l'approche participative a permis de promouvoir une utilisation durable des ressources en eau grâce à la sensibilisation et à l'implication de la population locale notamment des femmes, des jeunes, des autorités et décideurs.

- L'élaboration d'un SIG participatif a permis d'apprécier l'implication des populations notamment des Organisations Communautaires de Base et des ONG.

- La gestion du projet par les chercheurs même a surtout permis de renforcer leur capacité en administration.

8. IMPACT:

- Dans le contexte où les contraintes environnementales sont très fortes face à l'urbanisation, l'impact des nouvelles connaissances dans le cadre du projet sur la politique des autorités locales en matière d'habitat et de gestion des catastrophes naturelles était prise en compte dès le début des travaux. C'est ce qui explique le parrainage du projet par les collectivités locales, leur participation effective dans le déroulement des activités et le partage des résultats obtenus.

Les résultats du projet ont fait l'objet d'un Atelier de restitution tenu le 19 Novembre 2009 à la Maison de la Culture Douta Seck, sous la Présidence du Professeur Serigne NDiaye, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

L'Atelier de restitution a enregistré une participation de qualité des services techniques de l'Etat, de la Communauté urbaine de Dakar et des collectivités locales, préoccupés par les inondations urbaines dans la région de Dakar.

Les résultats du projet constituent une contribution de taille à la compréhension des inondations de Dakar et ouvrent des perspectives intéressantes dans la recherche de solutions à ce type de catastrophe. Dans une correspondance qu'on a adressé au Ministre des collectivités locales, nous avons demandé d'exposer les résultats à la prochaine réunion **du Plan ORSEC**.

- Au plus haut niveau, la promotion de ces résultats de recherche doit avoir leur impact sur le nouveau **Plan Directeur d'Urbanisation de Dakar (PDU)** «horizon 2025», également et surtout pour le plan de recasement des sinistrés dans d'autres zones.
- Le projet a contribué à sensibiliser les populations locales sur les effets néfastes de la consommation des eaux contaminées de la nappe souterraine, à travers les puits traditionnels et pompes « Diambars » dans les zones démunies.
- Les résultats issus de ce projet ont permis de mieux faire connaître l'apport des Outils **Télétection et SIG** dans la gestion des catastrophes naturels. Le département de Géologie est mieux préparé pour intégrer la Télétection et SIG comme module d'enseignement dans les différents Master mis en place cette année dans le cadre des réformes universitaires.
- L'équipe pluridisciplinaire de chercheurs se chargeant d'exécuter le projet, a permis surtout le renforcement de la collaboration interuniversitaire, mais également la collaboration Université et Institutions étatiques travaillant autour de la problématique des inondations à Dakar.
- L'acquisition de nouvelles données dans le cadre de ce projet à contribuer dans l'avancement des travaux de Thèse de Doctorat d'Etat concernant le responsable du Projet Dr. Seynabou Cissé Faye et les thèses de 3^e cycle en permettant de finir tous les dossiers analytiques.

9. RECOMMANDATIONS:

Les recommandations que nous jugeons nécessaires de faire au **CRDI** et aux administrateurs de **l'UQAM** vont porter essentiellement sur le dernier versement de 6 000 CAD pour couvrir toutes les dépenses déjà engagées dans le cadre du projet, vu que l'enveloppe restante du budget après la deuxième année a été entièrement dépensée durant la période de prolongation.

Concernant le volet hydrogéologique du projet, après avoir effectué toutes nos missions de terrain, l'équipe souhaiterait finir le traitement des échantillons de sol portant sur les 4 profils en zone non saturée au niveau du puits 202 localisé à Kounone. Le traitement concerne les analyses granulométriques et la détermination de certains paramètres physico chimiques au niveau du site.

On souhaitait également pouvoir finir les dosages des métaux lourds concernant les échantillons d'Octobre 2009.

Cette dernière étape qu'on souhaiterait dérouler, va permettre de compléter les données sur l'étude des mécanismes de contamination et de définir les paramètres du modèle numérique du transport de polluant en milieux poreux non saturés.

Pour la publication des résultats du projet on souhaiterait couvrir pour une partie les frais engendrés par la participation au Colloque International : ***Isonitrate « Towards new methods to manage nitrate pollution within the Water Framework Directive. 10& 11 December, 2009 UNESCO - PARIS.***

Annexes (I à IX)