

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DE L'HYDRAULIQUE

SOCIÉTÉ NATIONALE DES EAUX DU SÉNÉGAL



PROJET EAU à LONG TERME ÉTUDE D'IMPACT DE L'ARRÊT DES FORAGES DE THIAROYE SUR LES ZONES BASSES

MODELISATION DE LA NAPPE Modélisation des scénarios d'arrêt – Evaluation des impacts hydrogéologiques Avant projet Sommaire

Phases B et C - Rapport provisoire
A33129/A

Financement : Banque mondiale

**DIRECTION DE LA PLANIFICATION
ET DE L'EQUIPEMENT**
SONES, Route du Front de Terre – BP 400 Hann Dakar
TEL : (221) 839-78-00 – FAX : (221) 832-20-38

Janvier 2004



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	3
1.1.	RAPPEL DU CADRE GÉNÉRAL ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	3
1.2.	PHASAGE DE L'ÉTUDE	4
2.	DÉFINITION DES SCÉNARIOS.....	6
2.1.	Choix des scénarios d'évolution des pompages	6
2.1.1.	Description du scénario 1	6
2.1.2.	Description du scénario 2	6
2.1.3.	Description du scénario 3	7
2.1.4.	Description du scénario 4	9
2.2.	Choix de la durée de simulation	9
2.3.	Hypothèses concernant les évolutions de la pluviométrie et des rejets.....	9
2.3.1.	Hypothèse d'évolution de la pluviométrie.....	10
2.3.2.	Hypothèses d'évolution du paramètre "Volumes distribués".....	11
3.	ÉVALUATION DE L'IMPACT DE L'ARRÊT PARTIEL OU TOTAL DE L'EXPLOITATION DES FORAGES DE THIAROYE.....	12
3.1.	Définition d'un scénario de référence	12
3.2.	Evolution des niveaux de la nappe de Thiaroye sans modification du régime de pompage – Influence de l'évolution des rejets (scénario 1)	15
3.2.1.	Impact sur les zones inondables.....	15
3.3.	Influence de l'arrêt des pompages (scénario 2).....	19
3.3.1.	Quantification de l'impact de l'arrêt des pompages seul.....	19
3.3.2.	Quantification de l'impact cumulé de l'augmentation des rejets et de l'arrêt des forages.....	19
3.3.3.	Impact sur les zones inondables.....	19
3.4.	Influence d'une augmentation du régime de pompage au débit de 16000 m ³ /j (scénario 3).....	24
3.4.1.	Quantification de l'impact cumulé de l'augmentation des rejets et d'un régime d'exploitation du champ captant à 16000 m ³ /j.....	24
3.4.2.	Impact sur les zones inondables.....	24
3.4.3.	Impact d'un régime de pompage de 16000 m ³ /j sur la progression du biseau salé.....	27
3.5.	Influence du développement de l'assainissement (Scénario 4).....	28
3.5.1.	Influence de l'assainissement seul.....	28
3.5.2.	Influence de l'effet cumulé du développement de l'assainissement et de l'arrêt des pompages (Scénario 4 bis)	29
3.5.3.	Influence de l'effet cumulé du développement de l'assainissement et de l'exploitation du champ captant (Scénario 4 ter)	29
3.6.	Analyse de sensibilité.....	33
3.6.1.	Contribution respective des variations des paramètres.....	33
3.6.2.	L'arrêt des pompages serait-il envisageable si la pluviométrie reste faible pendant 10 ans ?	33

3.6.3.	L'exploitation intensive (16 000 m ³ /j) du champ captant apporte-t-elle une solution si la pluviométrie reste élevée durant 10 ans ?.....	34
3.7.	Conclusions intermédiaires	34
4.	Impacts sur les surfaces occupées	37
4.1.	Objectif et Méthodologie.....	37
4.2.	Situation actuelle (Hautes eaux 2002) :.....	40
4.3.	Impact des rejets – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes	41
4.3.1.	Impact de l'arrêt des pompages – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes.....	42
4.3.2.	Impact de l'exploitation intensive du champ captant – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes	43
5.	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ECONOMIQUES (SENAGROSOL).....	45
5.1.	Rappel sur la problématique actuelle des inondations	45
5.2.	Description des sites concernés par une remontée de la nappe dans un contexte d'arrêt des pompages	46
5.2.1.	Description générale des zones.....	46
	Description détaillée de la situation actuelle des quartiers susceptibles d'être touchés	48
5.3.	ANALYSE DES IMPACTS DE L'ARRET DES POMPAGES	52
5.3.1.	Identification des impacts	52
5.3.2.	Analyse des impacts des inondations.....	53
5.4.	CONCLUSIONS DE L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIO-ECONOMIQUE.....	56
6.	AVANT-PROJET SOMMAIRE.....	58
6.1.	Identification des consommateurs potentiels et définition des scénarii	58
6.2.	Description des solutions techniques et premier dimensionnement des installations.....	60
6.2.1.	Champ captant	60
6.2.2.	Refoulement sur la bêche de Thiaroye	61
6.2.3.	Distribution aux utilisateurs.....	61
6.3.	Estimation des Coût d'investissement des différentes solutions retenues. ..	62
6.4.	Estimation du Coût au m ³	62
7.	Conclusions de l'étude	64
8.	Recommandations	65

1. INTRODUCTION

1.1. RAPPEL DU CADRE GÉNÉRAL ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Depuis 1950, le champ de captage de Thiaroye exploite la nappe des sables quaternaires de la presqu'île du Cap vert pour l'approvisionnement en eau potable de Dakar. Les pompages ont provoqué un abaissement du niveau de la nappe sur un secteur de 20 km² environ.

La surface piézométrique de la nappe des sables quaternaires est proche du sol. En régime non influencé, elle affleurerait dans la série de dépressions inter-dunaires (niayes), bas-fonds et marigots qui caractérisent la morphologie de cette région de la presqu'île.

Le rabattement de la nappe induit par la mise en exploitation du champ captant d'une part, l'installation à partir du début des années 70 d'un cycle pluviométrique fortement déficitaire d'autre part, ont "assaini" les zones basses inondables, autorisant ainsi l'urbanisation de terrains auparavant impropres à la construction. L'extension de l'habitat sur le bassin versant hydrogéologique des captages a provoqué une forte pollution azotée de la nappe ; les teneurs en nitrate dans les eaux de Thiaroye dépassent aujourd'hui largement le seuil de potabilité (50 mg/l).

Dans le cadre de la réorganisation de ses sources de production d'eau potable pour l'alimentation de la capitale, la Société Nationale des Eaux du Sénégal (SONES) envisage l'arrêt total ou partiel de l'exploitation de Thiaroye.

La remontée du niveau de la nappe consécutif à l'abandon des captages peut replacer en zones inondables les secteurs construits en zones basses. Elle risque également d'avoir un impact négatif sur les activités maraîchères qui se sont développées dans la zone de Pikine.

La présente étude a pour objectifs :

- de fournir à l'exploitant un outil de prévision capable d'estimer les variations du niveau de la nappe à attendre de différents scénarios de réduction de l'exploitation,
- d'évaluer, par rapport à l'état actuel, l'impact environnemental de l'arrêt total ou partiel des prélèvements sur Thiaroye,
- de proposer des mesures d'atténuation de l'impact de l'arrêt des pompages et, dans l'hypothèse où le maintien d'un débit d'exploitation minimum serait indispensable, d'identifier et quantifier une demande agricole ou industrielle solvable qui pourrait utiliser ce débit minimum,

- de concevoir, dimensionner et chiffrer la solution proposée jusqu'au niveau de l'avant-projet sommaire,
- de définir un réseau de surveillance de la nappe des sables quaternaires dans la région de Thiaroye.

1.2. PHASAGE DE L'ÉTUDE

L'étude est subdivisée en 3 phases comprenant les composantes suivantes :

Phase A :

- Elaboration d'une synthèse hydrogéologique de la nappe des sables quaternaires de Thiaroye,
- Construction d'un modèle mathématique représentatif de l'aquifère,
- Diagnostic environnemental et socio-économique (état initial).

Phase B

- Simulation, au moyen du modèle mathématique, de différents scénarios d'exploitation et estimation, pour chacun d'eux, de l'impact hydrogéologique, environnemental et socio-économique.

Phase C

- Elaboration des avant-projets sommaires,
- Recherche, dimensionnement et chiffrage de solutions techniques visant à atténuer les effets de l'arrêt des pompages ou à transférer l'eau vers de nouveaux utilisateurs,

L'objet de ce rapport est de présenter le travail réalisé par ANTEA-SENAGROSOL au cours des phases B et C ¹: après avoir décrit les scénarios retenus en accord avec la SONES, les calculs d'impact sur l'évolution des zones inondées sur la presqu'île seront analysés en termes d'évolution des zones inondées. Pour réaliser cette tâche, ANTEA a utilisé le modèle mathématique hydrogéologique développé sous le logiciel Marthe et calé lors de la phase A de cette étude.

L'impact des différents scénarios est quantifié par des analyses comparatives avec la situation actuelle. En complément, ANTEA a mis en œuvre des outils d'analyse de type SIG (système d'information géographique) afin de quantifier les pertes de surface pour chaque nature d'occupation du sol. Le chapitre 5 analyse l'impact des différents scénarios retenus, notamment celui de l'arrêt des pompages sur l'environnement, et tente de chiffrer leur impact socio-économique.

¹ La phase A fait l'objet d'un rapport « Etude d'impact de l'arrêt des forages de Thiaroye sur les zones basses- phase A » - A27499/C – Juillet 2003

Enfin, la dernière partie de l'étude traite de l'estimation des investissements et des coûts de fonctionnement pour les solutions retenues.

2. DÉFINITION DES SCÉNARIOS

2.1. Choix des scénarios d'évolution des pompages

Le choix des scénarios, réalisé en concertation avec la SONES, est directement lié aux évolutions futures envisagées pour l'exploitation du champ captant de Thiaroye. Aujourd'hui, trois scénarios se profilent :

- Scénario 1 : le champ captant est complètement arrêté faute de solution techniquement ou économiquement viable quant à l'utilisation de l'eau captée à Thiaroye.
- Scénario 2 : l'eau de Thiaroye continue à être distribuée et les prélèvements restent globalement identiques à ceux connus aujourd'hui soit environ 5000 m³/j.
- Scénario 3 : une solution de réutilisation de l'eau de Thiaroye est trouvée et les forages existants sont exploités à plein régime (évaluation de l'exploitation à 16000m³/j). Cette solution est notamment envisageable si de grands complexes de culture intensive s'implantent dans la zone Sangalkam-Bambilor-Niaga.

Les simulations de la phase A, ayant montré l'impact important des rejets d'eaux usées sur les niveaux de la nappe, ANTEA a proposé d'ajouter un scénario (Scénario 4) intégrant l'impact du développement de réseaux d'assainissement dans la zone d'étude.

2.1.1. Description du scénario 1

Dans ce scénario, on suppose que l'ensemble du champ captant de Thiaroye est stoppé à partir de Mai 2003.

2.1.2. Description du scénario 2

On suppose ici que les volumes prélevés par chacun des forages du champ captant de Thiaroye restent identiques pour les 10 prochaines années à ceux qui ont été mesurés au premier trimestre 2003, à savoir :

Forage	m ³ /mois
F15	0
F17	53251
F18	8983
F19	62597
F21	25405
F22	11606

Tableau 1: pompages mensuels mesurés au premier trimestre 2003

2.1.3. Description du scénario 3

Le volume de 16000 m³/jour retenu correspond à un compromis entre ce que le champ captant de Thiaroye est susceptible de produire sans risquer de favoriser l'intrusion du biseau salé (ce point sera plus largement débattu dans le paragraphe 3.4 relatif à l'impact hydrogéologique du scénario 3) et la demande à satisfaire auprès des industriels et des maraîchers.

Pour satisfaire cette production, il serait nécessaire, en plus de la réhabilitation des ouvrages existants, d'augmenter de 4 unités le nombre de forages du champ captant.

Les critères d'implantation de ces nouveaux forages, arbitrairement nommés F30, F31, F32 et F33 (cf. figure 1) ont été les suivants :

- ❑ Zone d'affleurement de la nappe pour maximiser l'impact positif du pompage sur les inondations,
- ❑ Zone ayant une puissance aquifère supérieure à 35 m et une transmissivité supérieure à $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour assurer une bonne productivité du forage,
- ❑ Zone suffisamment éloignée de la côte nord pour éviter les invasions salines.

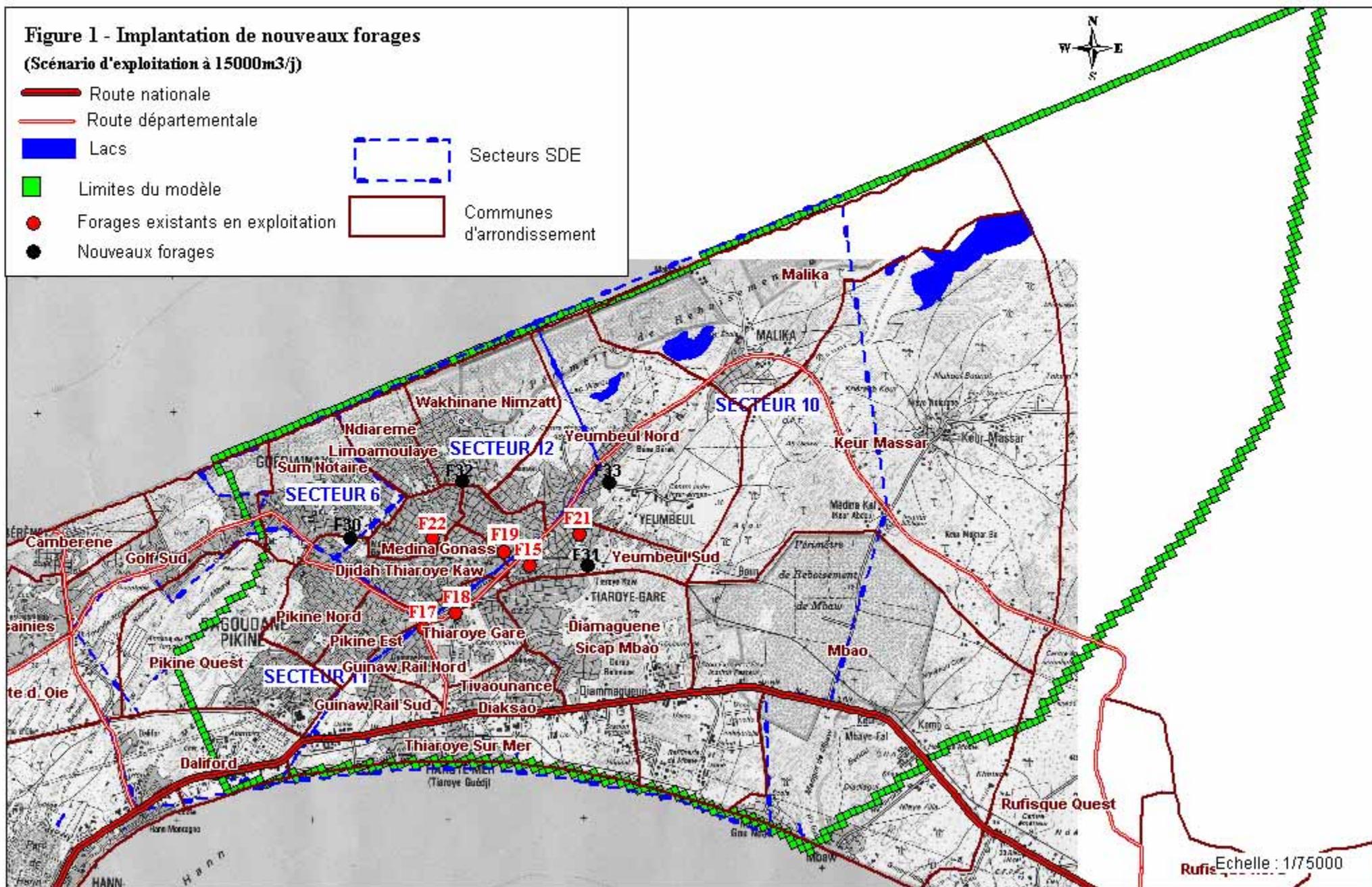
Identifiant	X UTM (m)	Y UTM (m)
F30	242583.1	1634143.6
F32	244250.4	1634953.3
F33	246407.38	1634923.16
F31	246093.4	1633711.6

Tableau 2 : Implantation proposée pour les 4 nouveaux forages

NB : Des investigations de terrain seraient évidemment nécessaires avant toute implantation définitive de ces ouvrages.

La profondeur des forages sera de 45 mètres en moyenne. Ils seront crépinés de 25 à 40 m et équipés en 12 pouces (chambre de pompage).

En outre, il sera nécessaire de reforer les anciens forages F15, F17, F18, F19, F21 et F22 aux mêmes emplacements.



Le champ captant sera ainsi équipé de 10 forages pouvant être exploités avec un débit de 100 m³/h pendant 16 heures par jour soit un total de 16000 m³/jour.

2.1.4. Description du scénario 4

Les simulations de la phase 1 avaient prouvé le rôle important des rejets d'eaux usées sur les niveaux de nappe. Ce scénario a pour objectif de montrer dans quelle mesure des investissements consacrés au développement de l'assainissement peuvent apporter une réponse au problème des inondations.

Les hypothèses associées à ce scénario sont les suivantes :

- En 2003, le volume collecté par les réseaux d'assainissement est nul sur la zone d'étude,
- Les investissements réalisés en assainissement durant la prochaine décennie conduiront à un taux de collecte égale à 50% des eaux distribuées avec une progression annuelle de 5 points du pourcentage collecté. Ne disposant pas d'information sur la stratégie de développement de l'assainissement, on suppose que l'accroissement du taux de collecte est uniformément réparti sur chaque secteur SDE.

Le taux de collecte cité ci-dessus représente un volume estimé à 8.5 millions de m³ par an à l'échéance 2013.

2.2. Choix de la durée de simulation

L'échéance des scénarios a été fixée à avril 2013.

2.3. Hypothèses concernant les évolutions de la pluviométrie et des rejets

Indépendamment des choix réalisés sur les évolutions de pompage, les résultats des simulations hydrodynamiques prospectives sont largement dépendants de paramètres difficiles à appréhender, comme l'évolution de la pluviométrie et des retours à la nappe au cours de la prochaine décennie. Il est nécessaire de préciser que l'évolution des rejets est directement liée à l'évolution des volumes distribués mais est décorrélée de l'évolution des pompages de Thiaroye, la grande majorité de l'eau distribuée sur l'agglomération de Thiaroye-Pikine provenant de la région du fleuve Sénégal.

Seule une analyse de sensibilité sur ces deux paramètres peut conduire à une approche satisfaisante du problème posé. Pour ce faire, pour chaque paramètre, ont été définies des courbes d'évolution moyenne, haute et basse.

Dans la première partie de l'étude, seules les évolutions moyennes seront prises en compte. Dans un deuxième temps, on s'attachera à évaluer la variabilité des résultats en testant les hypothèses hautes et/ou basses dans un contexte pertinent.

2.3.1. Hypothèse d'évolution de la pluviométrie

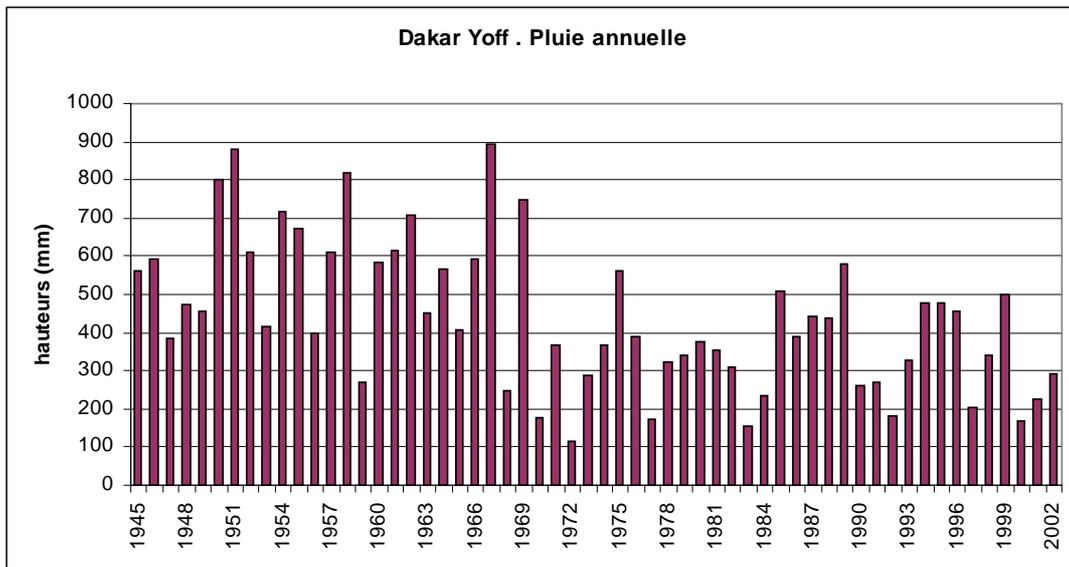


figure 2 – Chronique pluviométrique sur la période 1945-2002

La figure 2 ci-dessus présente l'évolution de la pluviométrie annuelle mesurée à la station de Dakar-Yoff depuis 1945. On note que depuis 1970, les valeurs de pluviométrie annuelles restent confinées dans la plage 100 mm-600 mm, le seuil de 500 mm/an n'ayant été dépassé que 3 fois et celui de 200 mm/an atteint 7 fois. Par conséquent, les valeurs extrêmes retenues pour l'analyse de sensibilité sur la pluviométrie s'établissent comme suit :

Valeur haute	500 mm/an
Valeur basse	200 mm/an

Dans l'analyse de sensibilité, ces valeurs sont supposées constantes sur toute la durée de simulation (10 ans). La probabilité d'avoir 10 années successives de pluviométrie très déficitaire (ou « excédentaire ») est extrêmement faible, mais la simulation de ces scénarios volontairement excessifs, permet de borner les situations potentiellement les plus défavorables et favorables attendues.

La détermination d'une pluviométrie moyenne suit la logique suivante : plutôt que de définir cette valeur comme étant la moyenne arithmétique des n années antérieures, nous avons considéré qu'il était plus judicieux de la déterminer par calage en admettant que la valeur retenue serait celle conduisant à un niveau de hautes eaux pour 2012 similaire à celui calculé en 2002, les autres paramètres (régime de pompage et volumes rejetés) restants identiques à ceux de 2002. Les simulations effectuées ont conduit à retenir la valeur de 350 mm/an (cf paragraphe 3.1).

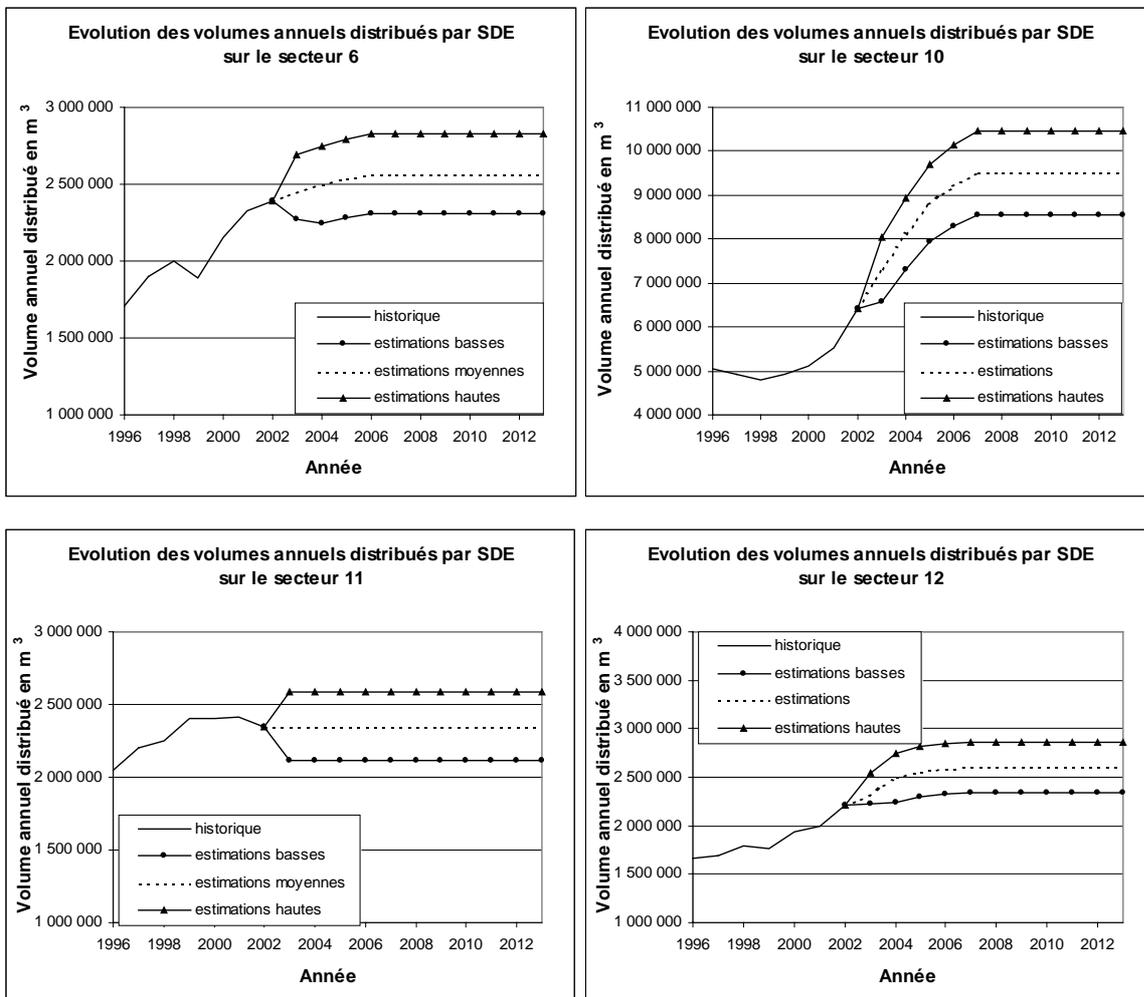
2.3.2. Hypothèses d'évolution du paramètre "Volumes distribués"

L'évolution des volumes distribués est liée à trois paramètres :

- le développement de l'habitat,
- les raccordements au réseau effectués dans le cadre de l'amélioration de l'habitat,
- l'augmentation du niveau de vie.

Ces paramètres affecteront de manière différentes les quatre secteurs desservis par SDE (cf. extension des secteurs SDE en figure 1). En effet, l'effort de raccordements sera majoritairement concentré sur le secteur 10 (Thiaroye- Mbao), tandis que les autres secteurs verront leur consommation augmenter principalement avec le niveau de vie.

ANTEA propose d'utiliser les évolutions de consommation suivantes dans les scénarios prospectifs.



Comme lors de la phase de calage du modèle (phase 1), on considère que 90% de l'eau distribuée sont susceptibles de s'infiltrer compte tenu de l'absence quasi totale (excepté sur la commune de Guediawaye) de réseaux d'assainissement dans ces secteurs de Dakar. L'évolution des rejets suivra donc une courbe calée sur celle des volumes distribués.

3. ÉVALUATION DE L'IMPACT DE L'ARRÊT PARTIEL OU TOTAL DE L'EXPLOITATION DES FORAGES DE THIAROYE

3.1. Définition d'un scénario de référence

L'intérêt d'un tel scénario est de pouvoir disposer pour les différentes configurations d'évolution simulées d'une même base de comparaison.

Le scénario de référence a été défini au paragraphe 2.3.1 comme le scénario conduisant au terme de l'échéance fixée (2012) à des niveaux de nappe identiques à ceux connus en 2002 sur la zone d'étude.

Pour le simuler, on maintient le régime de pompage et le volume de rejets identiques à ceux de 2002 sur toute la période de simulation, et on ajuste la pluviométrie annuelle pour parvenir au résultat recherché.

La réalisation de tests a montré qu'en prenant une pluviométrie annuelle constante de 350 mm/an, la différence entre les niveaux calculés en hautes eaux 2012 et entre les niveaux calculés en hautes-eaux 2002 n'excédait pas 0.1 m sur le champ captant (cf. figure 3). Il s'avère que cette hauteur pluviométrique correspond à la moyenne des 10 dernières années (1993-2002).

Cette valeur sera retenue comme valeur moyenne dans la suite de l'étude.

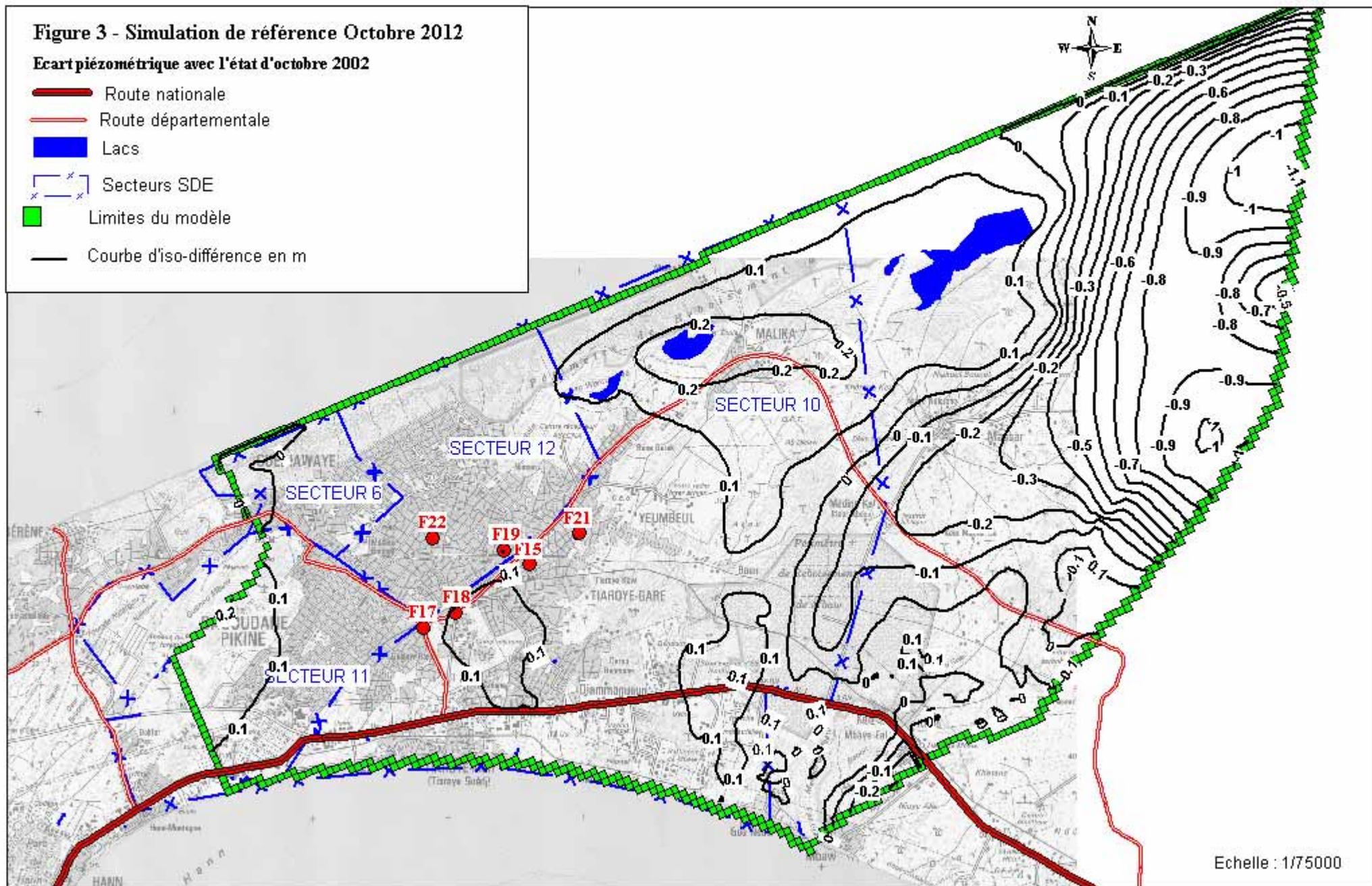
Remarque : la figure 3 montre des écarts importants, de l'ordre du mètre, à l'extrême est du modèle. L'éloignement de cette zone par rapport au champ captant ne compromet pas la validité des paramètres retenus pour cette simulation de référence.

La carte des zones inondables en situation hautes-eaux 2002, obtenue en fin de phase 1 est reproduite en figure 4 à titre de référence pour analyser l'impact des scénarios simulés dans la suite de l'étude.

Figure 3 - Simulation de référence Octobre 2012

Ecart piézométrique avec l'état d'octobre 2002

-  Route nationale
-  Route départementale
-  Lacs
-  Secteurs SDE
-  Limites du modèle
-  Courbe d'iso-différence en m



Echelle : 1/175000

Figure 4

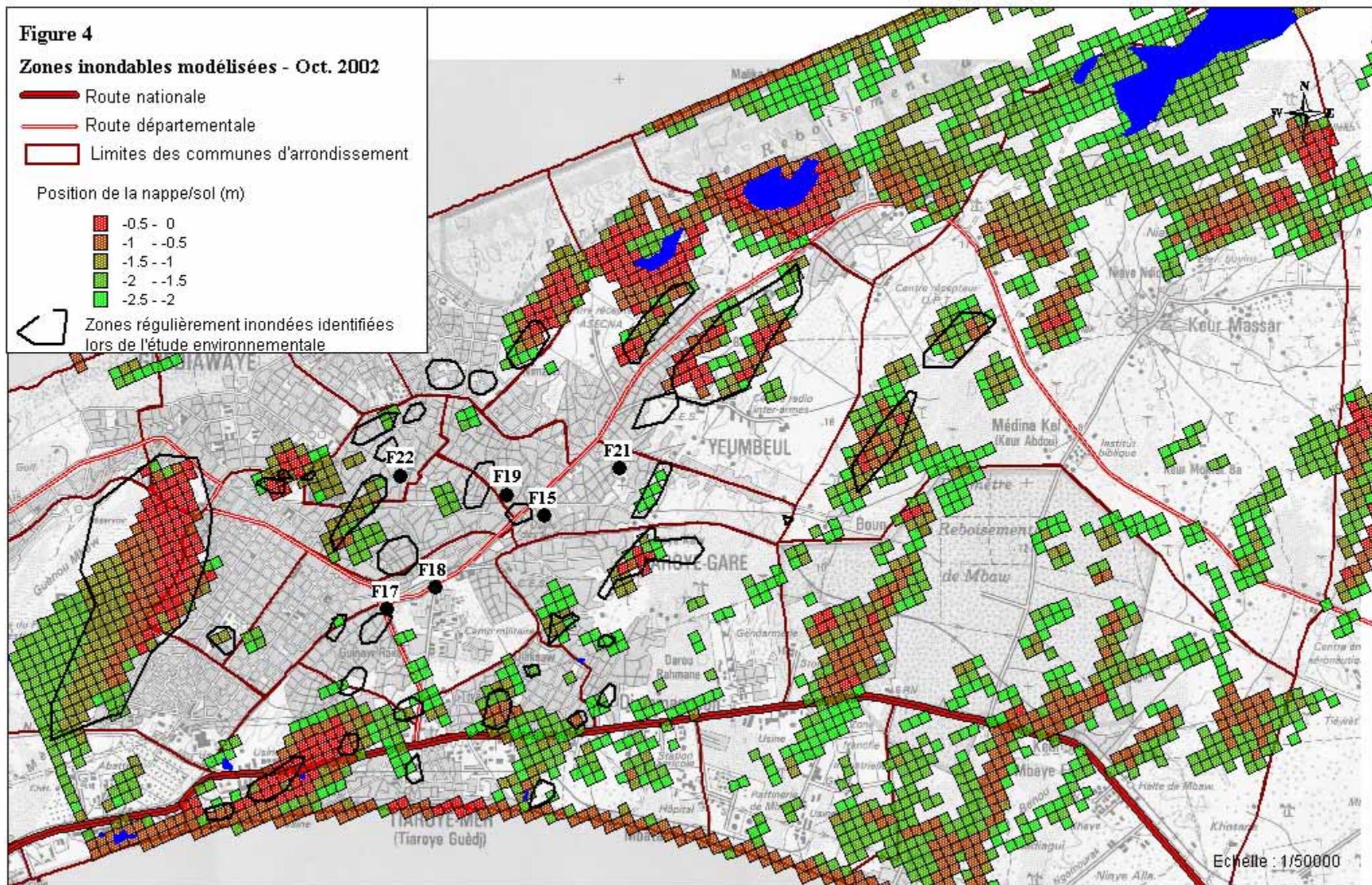
Zones inondables modélisées - Oct. 2002

-  Route nationale
-  Route départementale
-  Limites des communes d'arrondissement

Position de la nappe/sol (m)

-  -0.5 - 0
-  -1 - -0.5
-  -1.5 - -1
-  -2 - -1.5
-  -2.5 - -2

 Zones régulièrement inondées identifiées lors de l'étude environnementale



3.2. Evolution des niveaux de la nappe de Thiaroye sans modification du régime de pompage – Influence de l'évolution des rejets (scénario 1)

La première étape du raisonnement consiste à analyser l'évolution des niveaux de la nappe de Thiaroye uniquement sous l'effet de l'augmentation des rejets domestiques, sans modification du régime de pompage. On rappelle que l'évolution des rejets est indépendante de l'évolution du pompage puisque la majeure partie de l'eau distribuée sur Thiaroye-Pikine provient de la région du fleuve.

Le seul paramètre modifié par rapport à la simulation de référence correspond donc à un accroissement des rejets domestiques.

On rappelle que la progression des rejets est directement liée à celle des volumes distribués présentée au §2.3.2 puisqu'on suppose qu'en l'absence de dispositif d'assainissement, 90% de l'eau distribuée est susceptible de s'infiltrer dans la nappe.

Cette étape doit permettre de chiffrer l'impact de la croissance des rejets seuls sur l'évolution des niveaux de la nappe de Thiaroye.

L'état piézométrique obtenu à l'issue de cette simulation sera utilisé, dans la suite de l'étude, pour quantifier l'effet des variations faites sur le régime de pompage seuls.

Les hypothèses retenues pour ce scénario sont

Paramètre	Hypothèse
Pluviométrie	moyenne
Rejets	moyenne

Pour quantifier l'effet des rejets sur les niveaux de la nappe de Thiaroye, une carte des écarts entre les niveaux calculés en octobre 2012 et octobre 2002 a été dressée en figure 5.

L'analyse de cette carte montre que l'évolution des rejets peut à elle seule, sur 10 ans, générer une élévation du niveau de la nappe de 0.75 m dans certaines parties de la zone d'étude. Les quartiers les plus touchés sont situés dans le secteur 10 SDE, secteur où la progression des volumes distribués est la plus importante. Il s'agit plus précisément des quartiers est de Thiaroye Gare, des quartiers ouest de Diamaguene Sicap Mbao, de Yeumbeul et Malika.

Le champ captant de Thiaroye est situé dans une zone où les élévations du niveau de la nappe dues à l'augmentation des rejets se situent autour 0.5 m.

3.2.1. Impact sur les zones inondables

L'évolution des rejets ne modifie pas la cartographie des quartiers inondés dans la zone des pompages (cf fig 6). En revanche, la vulnérabilité de la zone située entre la caserne de Faidherbe et la zone de reboisement de Mbao est sérieusement accrue. Plus précisément, les quartiers périphériques de la caserne de Mbao, qui

sont relativement épargnés en 2002, voient leur situation s'aggraver rien que sous l'effet de rejets.

Cette simulation montre que le phénomène d'inondations risque de s'aggraver vers l'est de la zone d'étude, sous l'effet de la progression des rejets, dans des zones situées hors d'influence des captages existants.

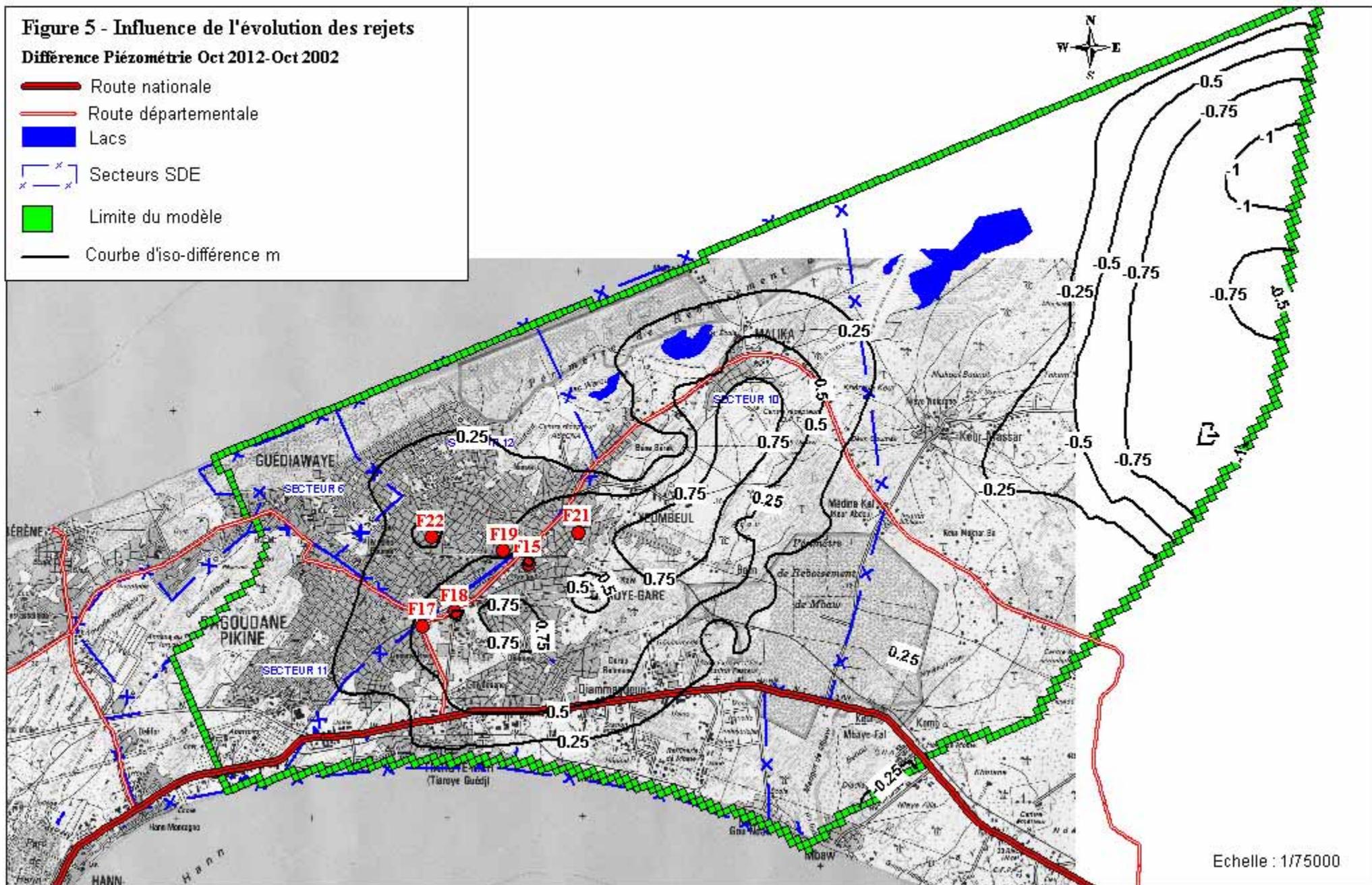


Figure 6 - Influence de l'évolution des rejets

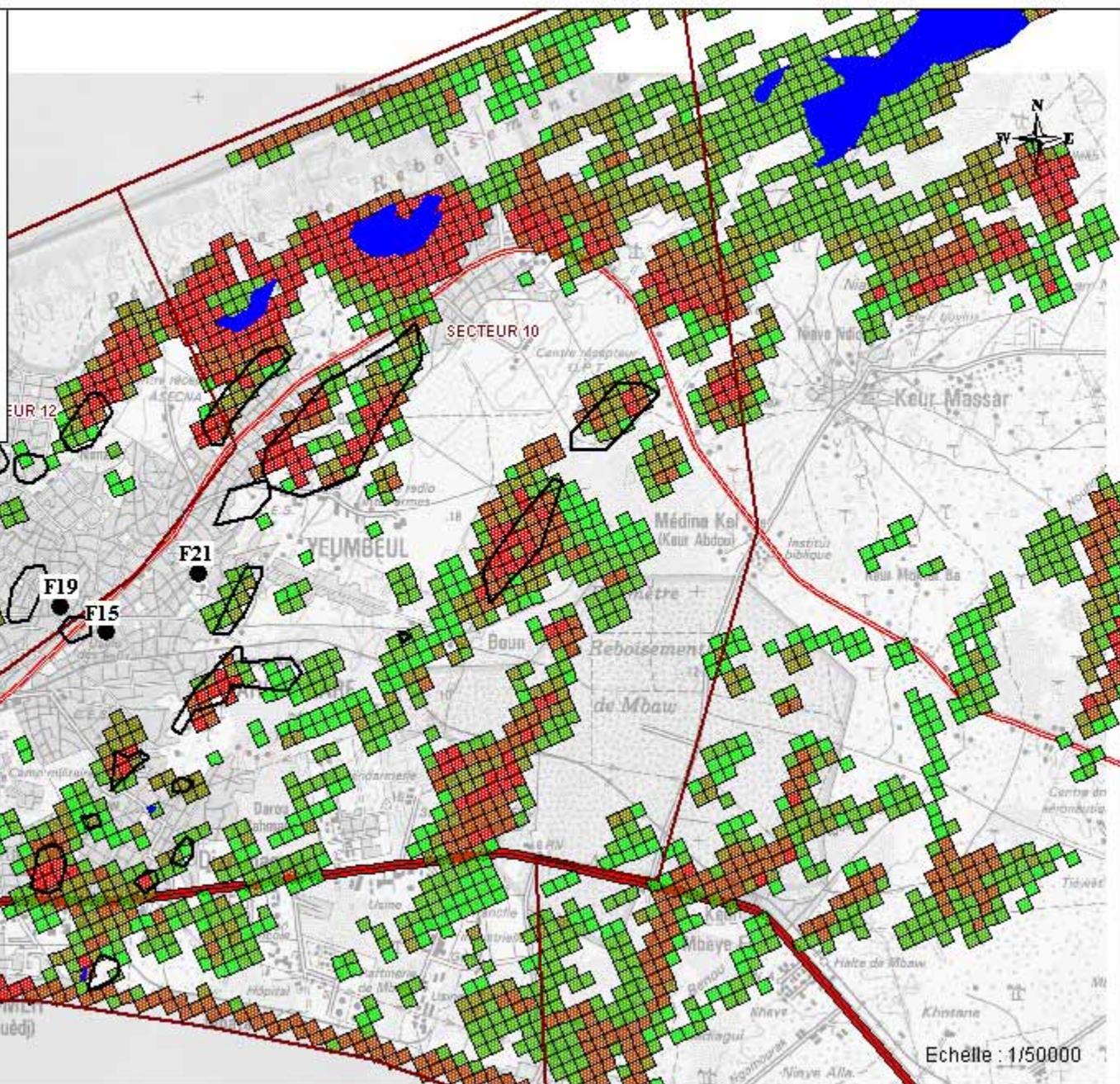
Zones inondables modélisées - Oct. 2012

-  Route nationale
-  Route départementale
-  Limites des communes d'arrondissement

Position de la nappe/sol (m)

-  -0.5 - 0
-  -1 - -0.5
-  -1.5 - -1
-  -2 - -1.5
-  -2.5 - -2

-  Zones régulièrement inondées identifiées lors de l'étude environnementale (2001)



3.3. Influence de l'arrêt des pompages (scénario 2)

Ce scénario s'intéresse à l'évolution de la nappe de Thiaroye sous l'effet cumulé d'une augmentation des rejets et de l'arrêt des forages existants. L'hypothèse de pluviométrie est maintenue à 350 mm/an.

3.3.1. Quantification de l'impact de l'arrêt des pompages seul

La figure 7 présente la différence entre la piézométrie d'octobre 2012 obtenue sans pompage et celle obtenue avec pompage (§ 3.2). Les courbes de niveau représentent donc l'impact de l'arrêt du champ captant seul.

Les plus fortes variations engendrées par l'arrêt des pompages sont centrées sur les plus gros captages (F17 et F19) avec une hausse pouvant atteindre 3 m. L'influence piézométrique est circonscrite à un rayon d'environ 1 km autour de ces 2 principaux forages.

La figure 5 avait montré que l'effet de l'augmentation des rejets était étendu, puisque la hausse de niveau se faisait sentir sur l'ensemble des zones habitées, mais d'amplitude limitée, avec 0.75 m de hausse au maximum. L'impact de l'arrêt des forages est, quant à lui, plus limité dans l'espace mais d'ampleur plus importante.

3.3.2. Quantification de l'impact cumulé de l'augmentation des rejets et de l'arrêt des forages

La différence entre l'état piézométrique hautes eaux d'octobre 2012 et celui d'octobre 2002 permet d'appréhender l'augmentation du niveau de la nappe de Thiaroye dans le cas où l'arrêt des forages serait effectif (figure 8).

Remarque : la somme des écarts tracés sur la figure 5 (effet d'une augmentation des rejets) et des écarts tracés sur la figure 7 (effet de l'arrêt des pompages) aurait conduit aux isovaleurs de la figure 8.

L'impact cumulé de l'arrêt des pompages et de l'augmentation des rejets aura pour conséquence **de surélever le niveau piézométrique de 0.5 m à 2.5 m** en fonction de la zone considérée. Les secteurs les plus durement touchés seront situés dans le rayon d'influence du champ captant, plus particulièrement ceux situés à proximité des forages F17 et F19.

3.3.3. Impact sur les zones inondables

Les zones inondables prévisionnelles si l'arrêt des forages de Thiaroye était envisagé sont cartographiées sur la figure 9.

Les zones les plus durement affectées sont situées dans le champ captant. Les communes d'arrondissement de Medina Gounass, Djidah Thiaroye Kaw, Diamaguene Sicap Mbao, Tivaounance Diaksao et Thiaroye Gare subissent des

pertes de surface habitable importante. Une analyse quantifiée de ces pertes est réalisée dans le chapitre 4.

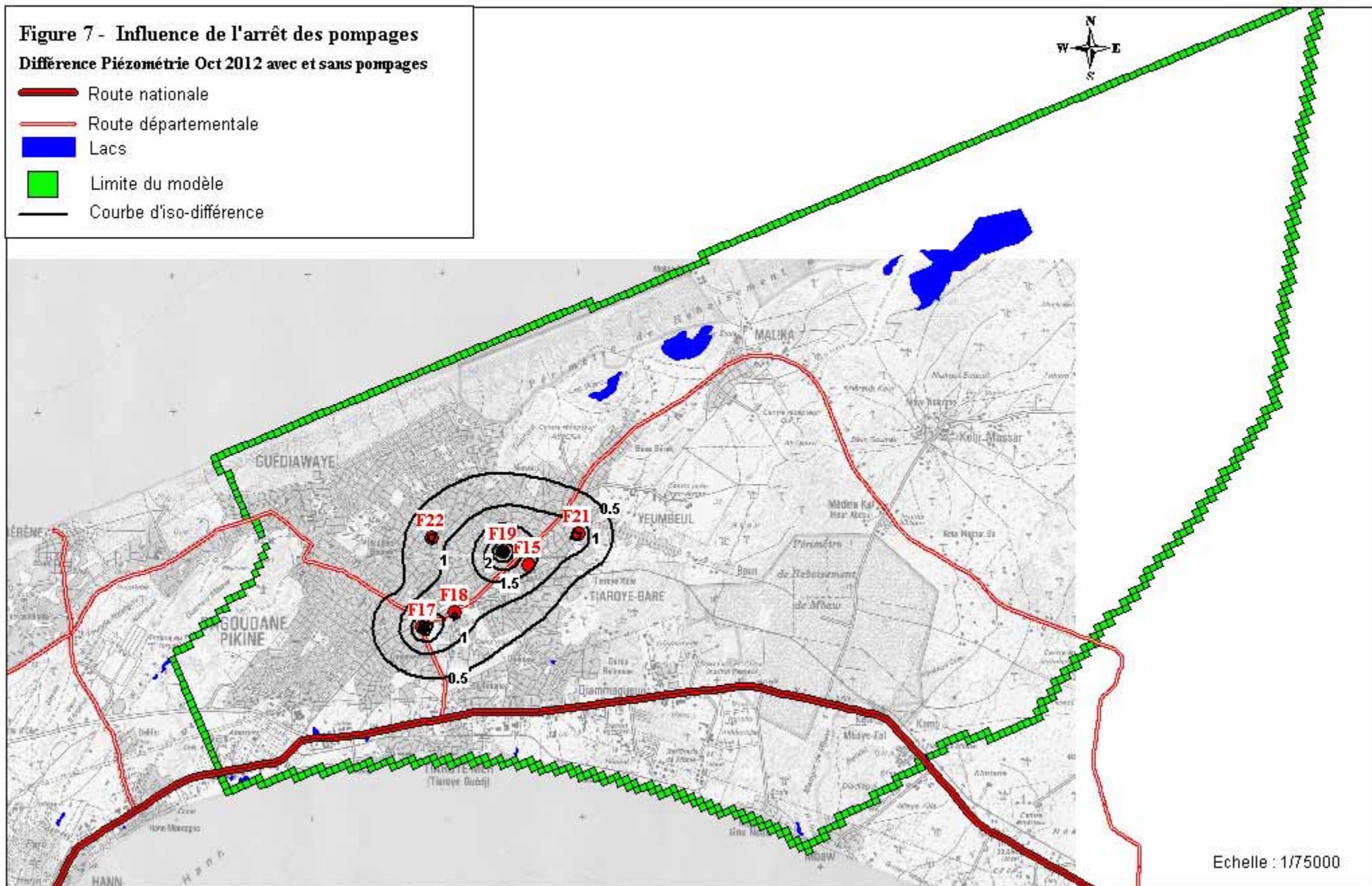
Au regard de ces résultats, l'arrêt des forages de Thiaroye ne paraît pas envisageable sans mesure compensatoire, en raison des dommages importants occasionnés à des quartiers entiers. La suite de l'étude a donc consisté à analyser deux solutions techniques pour éviter de telles conséquences, voire même améliorer la situation par rapport à l'état actuel :

- poursuite de l'exploitation du champ captant
- mise en place de réseaux d'assainissement

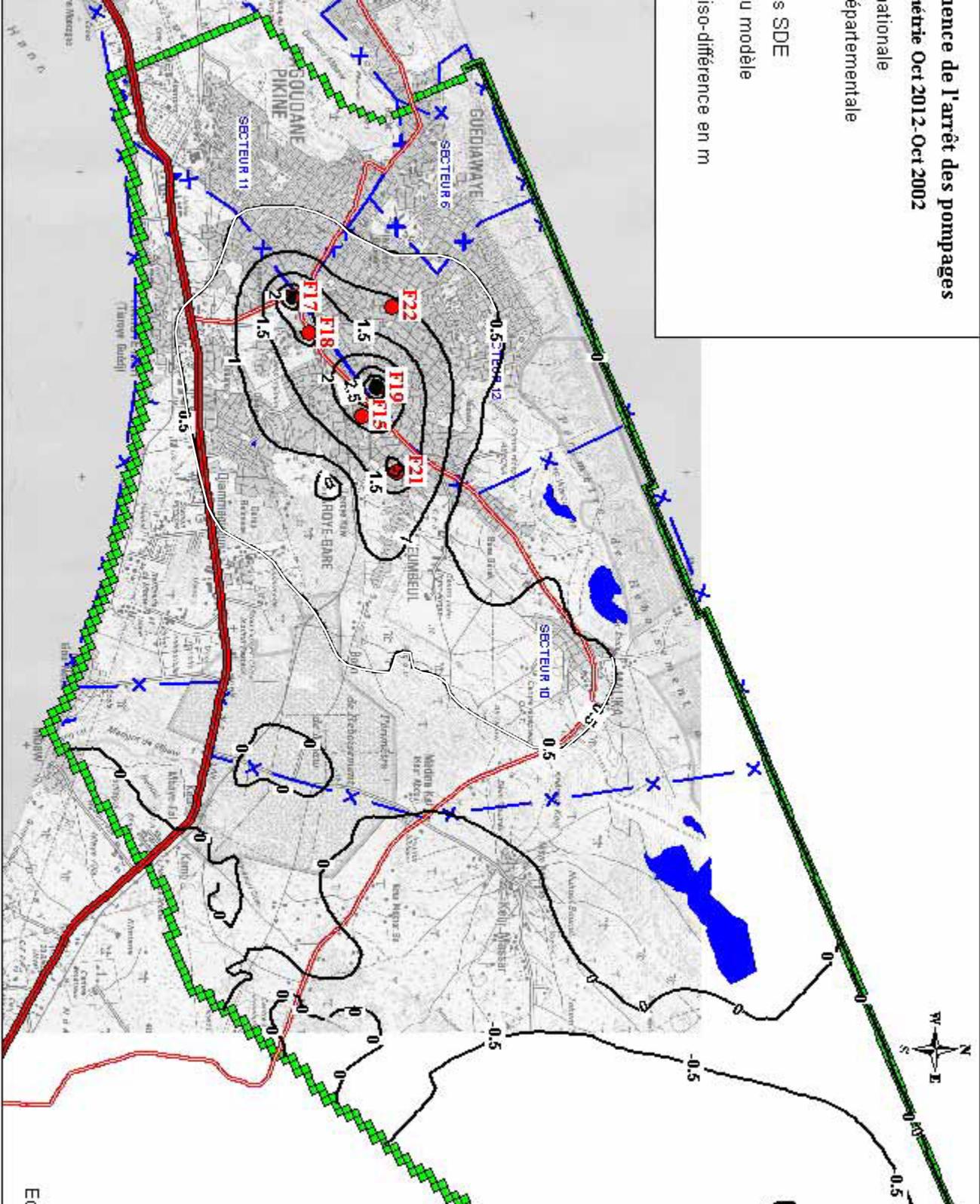
Figure 7 - Influence de l'arrêt des pompages

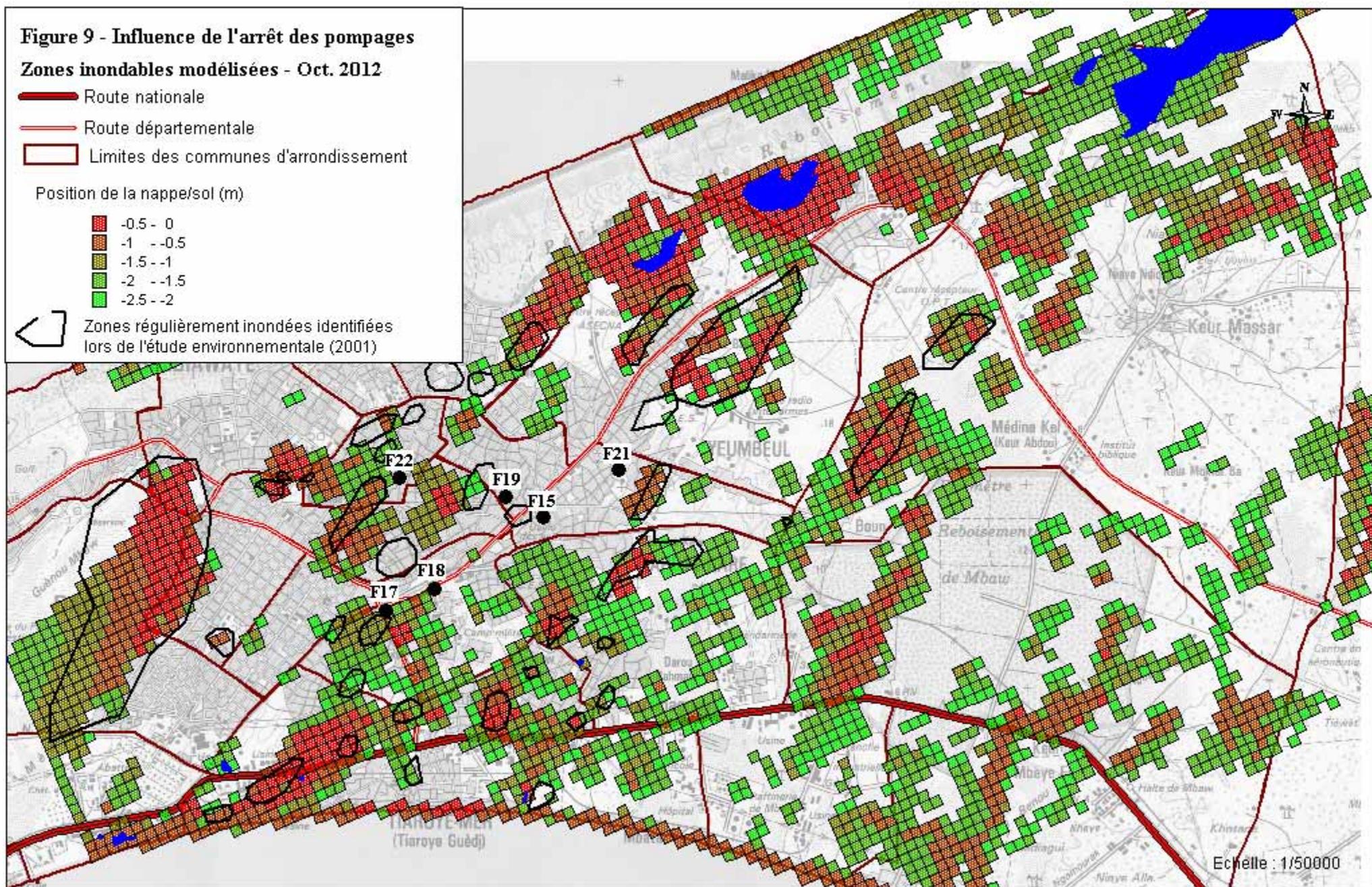
Différence Piézométrie Oct 2012 avec et sans pompages

-  Route nationale
-  Route départementale
-  Lacs
-  Limite du modèle
-  Courbe d'iso-différence



Agence de l'arrêt des pompages
ntrée Oct 2012-Oct 2002
nationale
départementale
s SDE
u modèle
iso-différence en m





3.4. Influence d'une augmentation du régime de pompage au débit de 16000 m³/j (scénario 3)

Ce scénario s'intéresse à l'évolution de la nappe de Thiaroye sous l'effet cumulé d'une augmentation des rejets et de l'augmentation du régime d'exploitation du champ captant de Thiaroye à hauteur de 16000m³/j. Il est rappelé que l'obtention de tels débits nécessite la réhabilitation de l'ensemble du parc de forages et la création de 4 nouveaux ouvrages dont l'implantation a été définie selon des critères décrits au paragraphe 2.1.3.

L'hypothèse de pluviométrie est maintenue à 350 mm/an.

3.4.1. Quantification de l'impact cumulé de l'augmentation des rejets et d'un régime d'exploitation du champ captant à 16000 m³/j

A l'échéance 2012, les rabattements de nappe induits par la mise en place d'un champ captant pompant 16000 m³/j, par rapport à octobre 2002, sont présentés en figure 10. Le cône d'influence du champ captant ainsi défini est centré entre F22 et F19. Il a un rayon 2 km et englobe une grande partie de la zone urbanisée de Thiaroye-Pikine. Les rabattements induits seraient supérieurs à 0.5 m sur quasiment la plus grande partie des zones habitées, avec des maxima atteignant 3 m à proximité des forages.

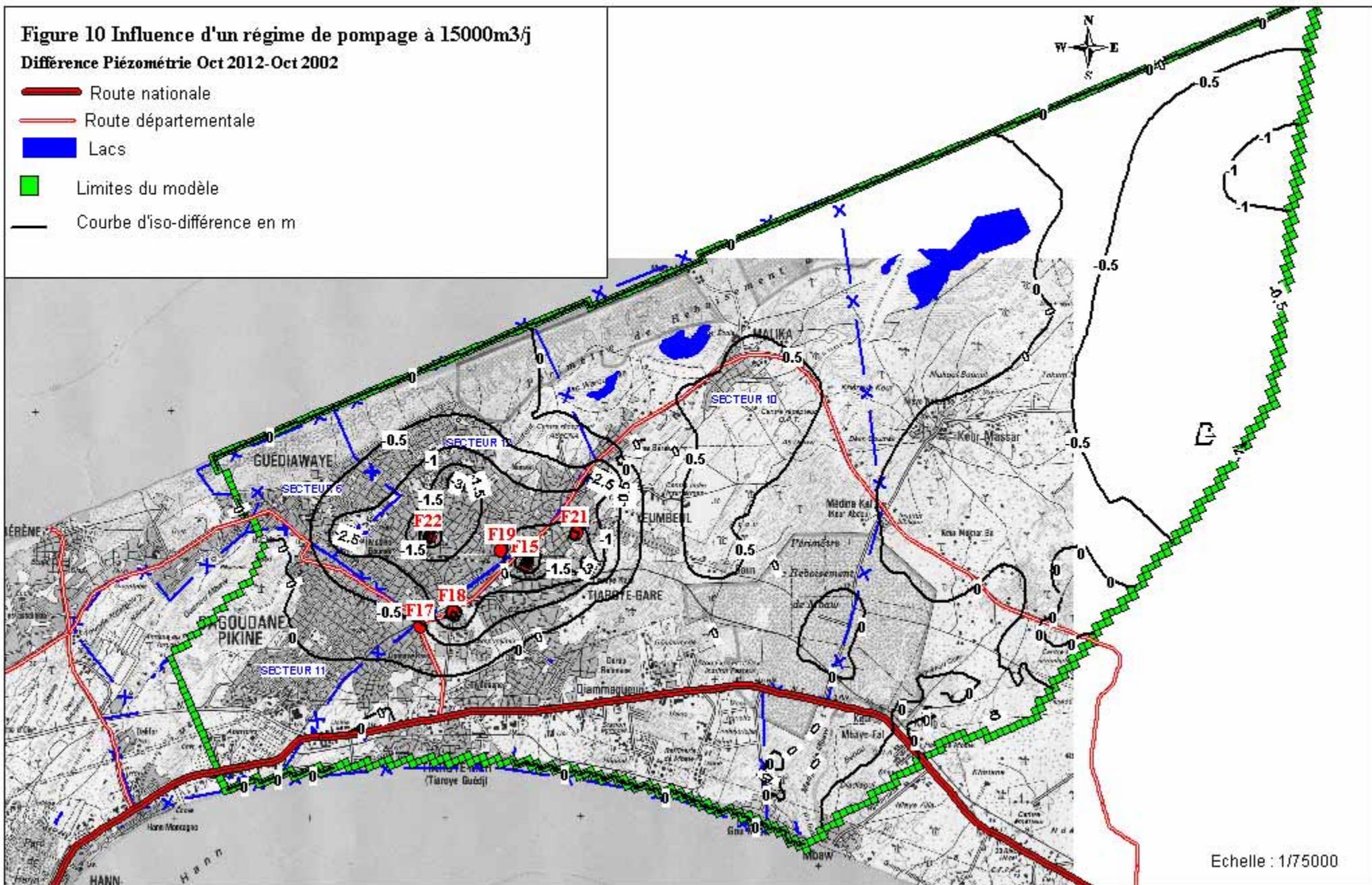
La situation dans la frange sud de la presqu'île (Thiaroye-Mer) devrait rester à peu près similaire à celle connue aujourd'hui. Si la situation de cette zone était jugée inacceptable, sa proximité avec la mer empêche d'envisager une solution par mise en place de forages. Pour la préserver, seuls des dispositifs de drainage pourraient être envisagés.

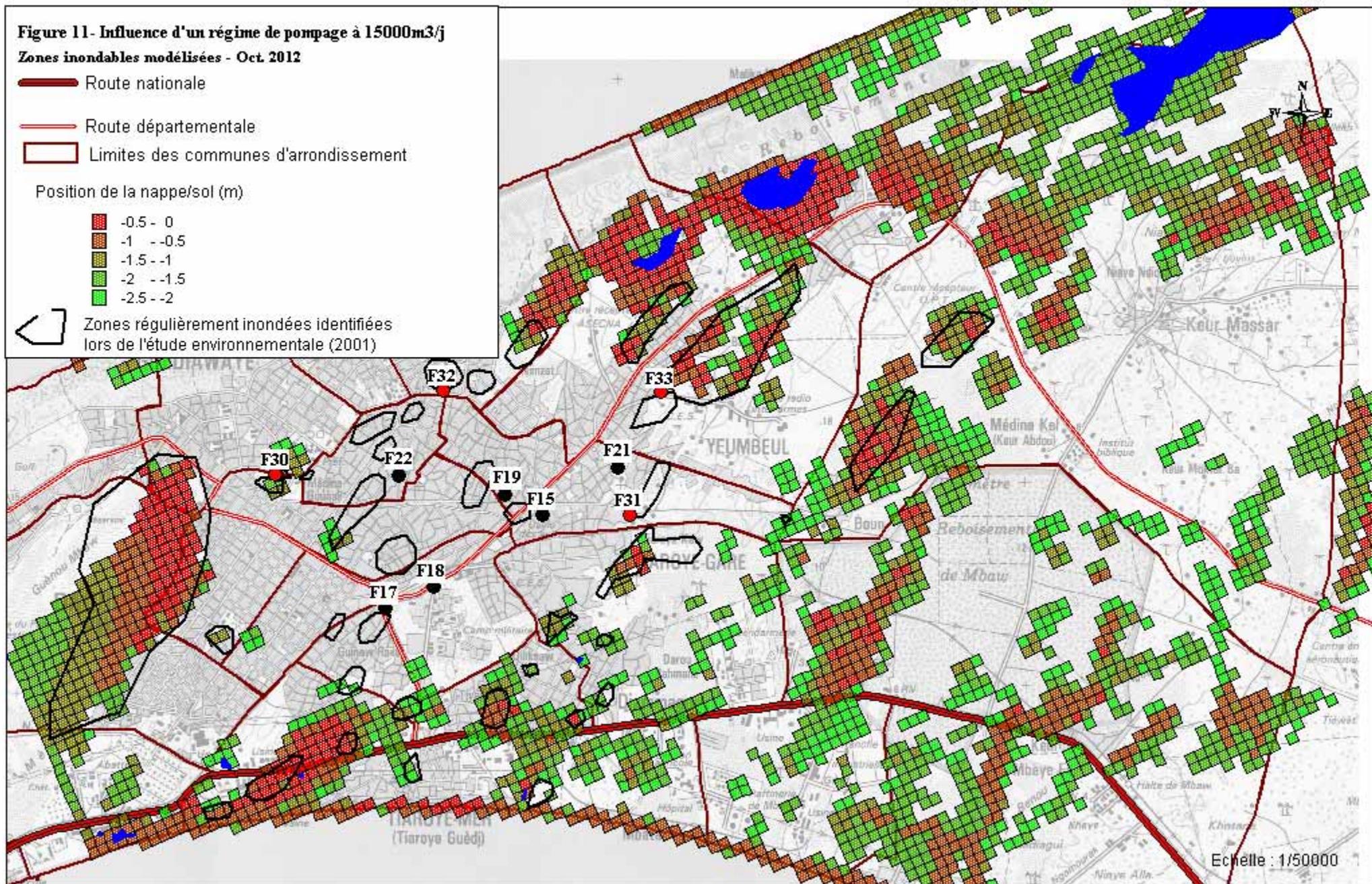
L'influence du champ captant ne permettra pas d'empêcher des remontées conséquentes (0.5 m) dans la zone de Malika-Yeumbeul. Si cette solution technique est retenue, à l'inverse de la frange sud, il serait nécessaire, en phase d'APD, d'étudier soit la possibilité d'implanter des forages dans cette zone, soit de planifier un dispositif de collecte des eaux usées.

3.4.2. Impact sur les zones inondables

La carte de la figure 11 montre que la mise en place d'un champ captant prélevant 16000 m³/j est susceptible de résoudre le problème d'inondations dans une grande partie des quartiers de Thiaroye-Pikine. On distingue deux cas de figure pour les zones non assainies par le dispositif :

- si elles sont situées en bord de mer, seule une solution de type drainage ou collecte des eaux usées pourrait être envisagée
- si elles sont situées en partie centrale de la presqu'île, une optimisation de l'implantation des nouveaux forages pourrait apporter des solutions. Cette optimisation pourrait porter sur le nombre de forages à implanter et/ou sur leur implantation.





3.4.3. Impact d'un régime de pompage de 16000 m³/j sur la progression du biseau salé.

Le scénario qui consisterait à augmenter les volumes prélevés dans la nappe de Thiaroye semble apporter une réponse satisfaisante au problème des inondations sur une grande partie de l'agglomération de Thiaroye-Pikine. Toutefois, le champ captant étant situé en bord de mer, il convient de s'assurer que le prélèvement de tels volumes ne risque pas de favoriser l'intrusion marine, ce qui risquerait de rendre l'eau pompée impropre à un quelconque usage (irrigation, eau de process industriel). La modélisation mathématique des phénomènes d'intrusion saline est un problème complexe qui met en œuvre des modèles diphasiques ou densitaires et nécessite une bonne connaissance hydrochimique (a minima : profils de conductivité électrique) de l'état initial. Une approche analytique est présentée ci-après pour se faire une idée sur la faisabilité d'un tel projet.

Le principe de Ghyben-Herzberg

Le principe de Ghyben-Herzberg établit, sur la base du contraste de densité entre l'eau douce et l'eau salée, qu'en conditions hydrostatiques, la hauteur d'eau douce présente sous le niveau 0 de la mer est égale à 40 fois la hauteur d'eau douce située au-dessus du niveau de la mer.

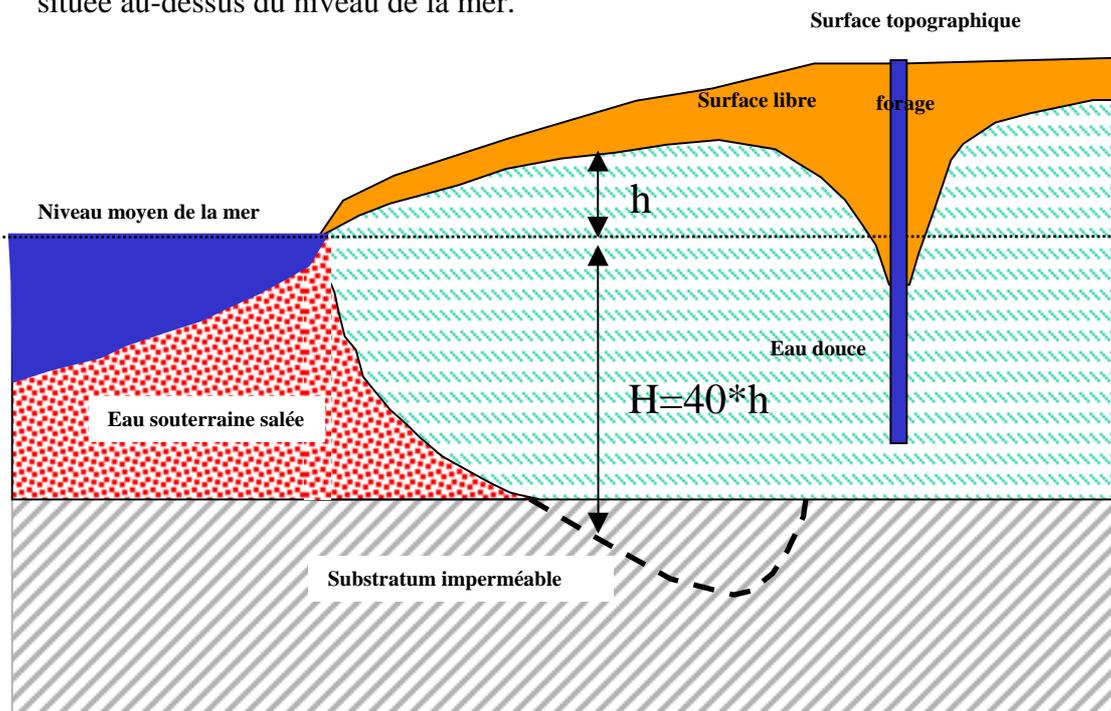


Figure 12 : Schématisation du principe de Ghyben-Herzberg

Pour s'assurer que l'exploitation de la nappe de Thiaroye au régime de 16000 m³/j ne risque pas de favoriser les intrusions salines, un raisonnement simple consiste à vérifier que, malgré les pompages, l'eau douce reste présente sur toute l'épaisseur de la formation aquifère. Soit $h(x,y)$ la cote piézométrique et $Z_s(x,y)$ la cote du substratum. En théorie si $H(x,y) = 40 \cdot h(x,y)$ est supérieur à la valeur absolue de

$Z_s(x,y)$ (notée $|Z_s(x,y)|$ par la suite), le dispositif de pompage ne favorise pas l'intrusion saline.

L'application numérique au cas de Thiaroye dans le contexte de pluviométrie moyenne, et d'évolution moyenne des rejets, montre que la condition si dessus est systématiquement vérifiée. Toutefois, entre les forages F32, F33 et le littoral nord, les valeurs de $H(x,y)$ excèdent $|Z_s(x,y)|$ d'à peine 30 m. Autrement dit, si dans cette zone le niveau piézométrique devait être 0.75 m plus bas que le niveau simulé, la condition ne serait plus vérifiée. Compte tenu des incertitudes sur les résultats des simulations, de la méconnaissance de la position actuelle du biseau salé, on ne peut, à ce stade, garantir totalement que les forages F32 et F33 ne seraient pas salinisés à terme.

Si la solution d'exploiter le champ captant à hauteur de 16000 m³/j est retenue, il est nécessaire qu'un dispositif de surveillance de la progression du biseau salé soit implanté dans la zone de vulnérabilité, pour déceler toute avancée du biseau salé et procéder en conséquence à des réajustements de prélèvements.

3.5. Influence du développement de l'assainissement (Scénario 4)

La mise en place d'un champ captant exploitant la nappe de Thiaroye au régime de 16000 m³/j est techniquement envisageable mais n'apporte pas satisfaction sur l'ensemble de la zone. On s'intéresse donc ici à l'utilisation de l'assainissement comme mesure d'atténuation des remontées de nappe.

Le scénario simulé ci-après repose sur les hypothèses suivantes : pluviométrie moyenne, progression des rejets moyenne. La progression de l'assainissement est prise en compte dans le modèle en appliquant une diminution des volumes rejetés. On suppose que, d'ici à 2013, les investissements permettront de collecter 50% des volumes distribués. Cette mesure revient à limiter le volume de rejets à environ 7.5 millions de m³ annuels contre 15 millions dans les scénarios sans assainissement. Pour atteindre un tel taux de collecte, on suppose que l'assainissement suivra une progression de 5 points par an et ce sur l'ensemble des zones habitées.

3.5.1. Influence de l'assainissement seul

La figure 13 montre les variations du niveau piézométrique par rapport à la situation d'octobre 2002, dans un contexte où les débits prélevés dans les forages seraient identiques à ceux connus aujourd'hui mais avec une progression de l'assainissement de 5 points par an. Cette représentation permet d'appréhender l'effet du développement de l'assainissement.

La mise en place de réseaux d'assainissement, dans les conditions décrites ci-dessus, permettrait de rabaisser le niveau de la nappe jusqu'à 1 mètre dans une zone centrée sur Medina Gounass. Cette zone constitue le secteur 6 de la SDE, secteur où la consommation par unité de surface est la plus élevée.

Malgré les hypothèses ambitieuses de développement, la solution de l'assainissement est, sur une échéance de 10 ans, moins performante que la solution de prélèvements intensifs (dans la zone concernée). Elle permet cependant de traiter des zones ne pouvant bénéficier du rabattement du champ captant en raison de leur proximité avec la mer.

3.5.2. Influence de l'effet cumulé du développement de l'assainissement et de l'arrêt des pompages (Scénario 4 bis)

L'objectif de ce scénario est de voir si le développement de l'assainissement, tel que défini ci-avant, permettrait d'envisager l'arrêt complet du champ captant.

En analysant les calculs déjà réalisés, on peut d'ores et déjà se faire une idée du résultat : l'analyse de l'effet d'un arrêt des pompages a montré (§ 3.3.1, figure 7) que la remontée induite sera comprise entre 1 et 2 m sur la ligne, F17-F21. Or le gain dû à l'assainissement sur cette même ligne est comprise entre 0.5 m et 1 m au maximum. La mise en place de réseaux d'assainissement ne suffit donc pas à compenser la remontée du niveau dynamique dans la zone des forages. On peut donc s'attendre à une dégradation dans cette zone.

Analyse de la carte des zones inondées :

La comparaison de la carte de la figure 14 avec la carte des zones inondables d'octobre 2002 (fig 4) confirme que la situation des zones périphériques des forages est dégradée. Sur le reste de la zone d'étude, l'effort réalisé sur l'assainissement permettrait de maintenir les niveaux de nappe globalement identiques à ceux connus aujourd'hui.

Par rapport à la situation actuelle ; le gain apporté par le développement de l'assainissement paraît donc médiocre, au regard des investissements correspondants. Il convient cependant de mentionner que ces investissements permettraient d'assurer une situation nettement plus acceptable que celle obtenue sans mesure compensatoire (§ 3.3).

Remarque : Un scénario, non présenté, montre que l'hypothèse d'une progression de l'assainissement permettant d'atteindre 100% de collecte permet d'endiguer totalement le problème des inondations sur Thiaroye-Pikine.

3.5.3. Influence de l'effet cumulé du développement de l'assainissement et de l'exploitation du champ captant (Scénario 4 ter)

Ce scénario correspond au cas au développement de l'assainissement combiné avec un maintien des prélèvements au niveau actuel. La figure 15 montre que cette combinaison permet de résoudre le problème des inondations sur la quasi-globalité des zones habitées. Seules restent menacées d'inondation une zone sur Thiaroye-Gare et une zone sur Thiaroye-Mer.

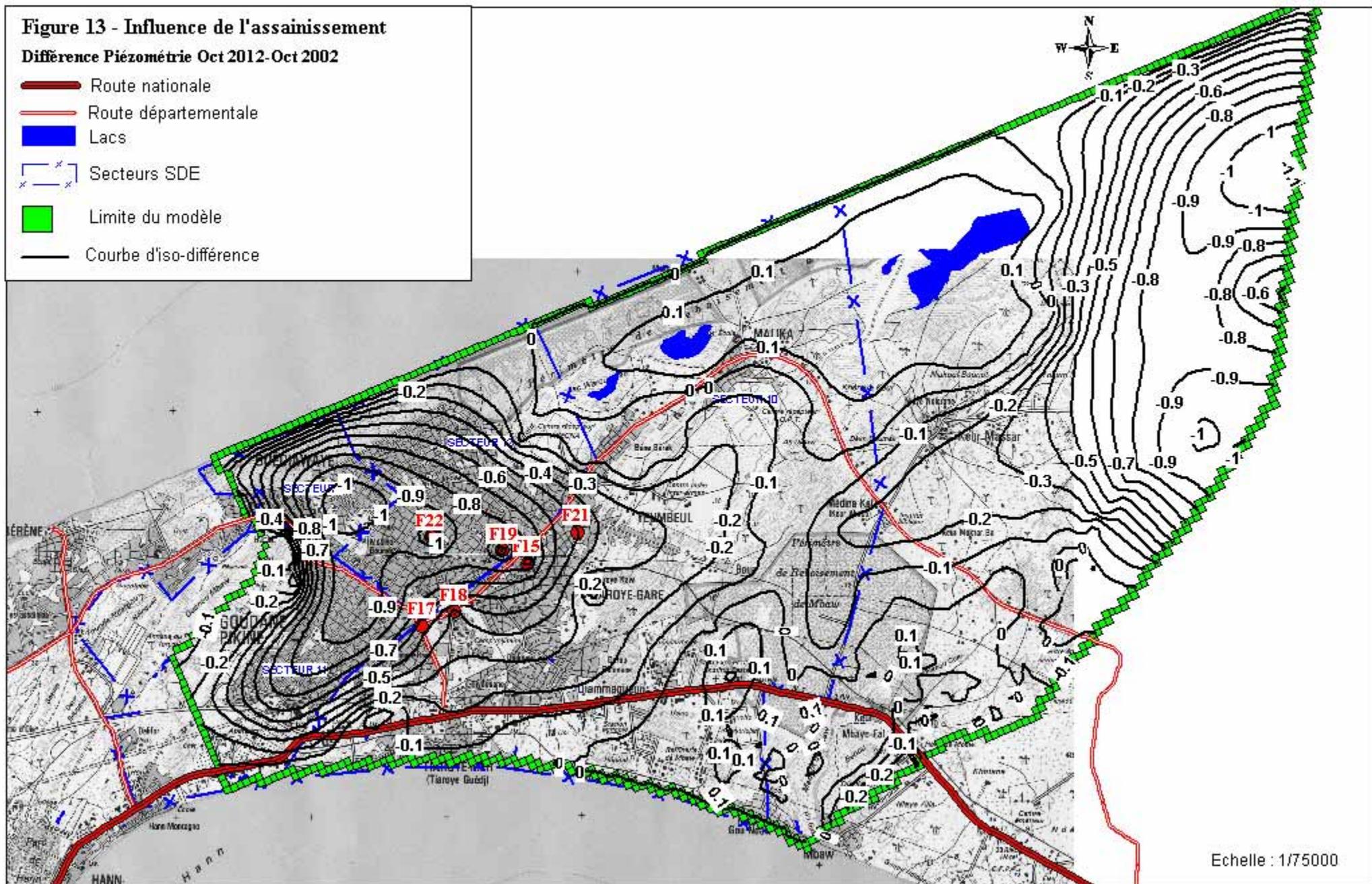
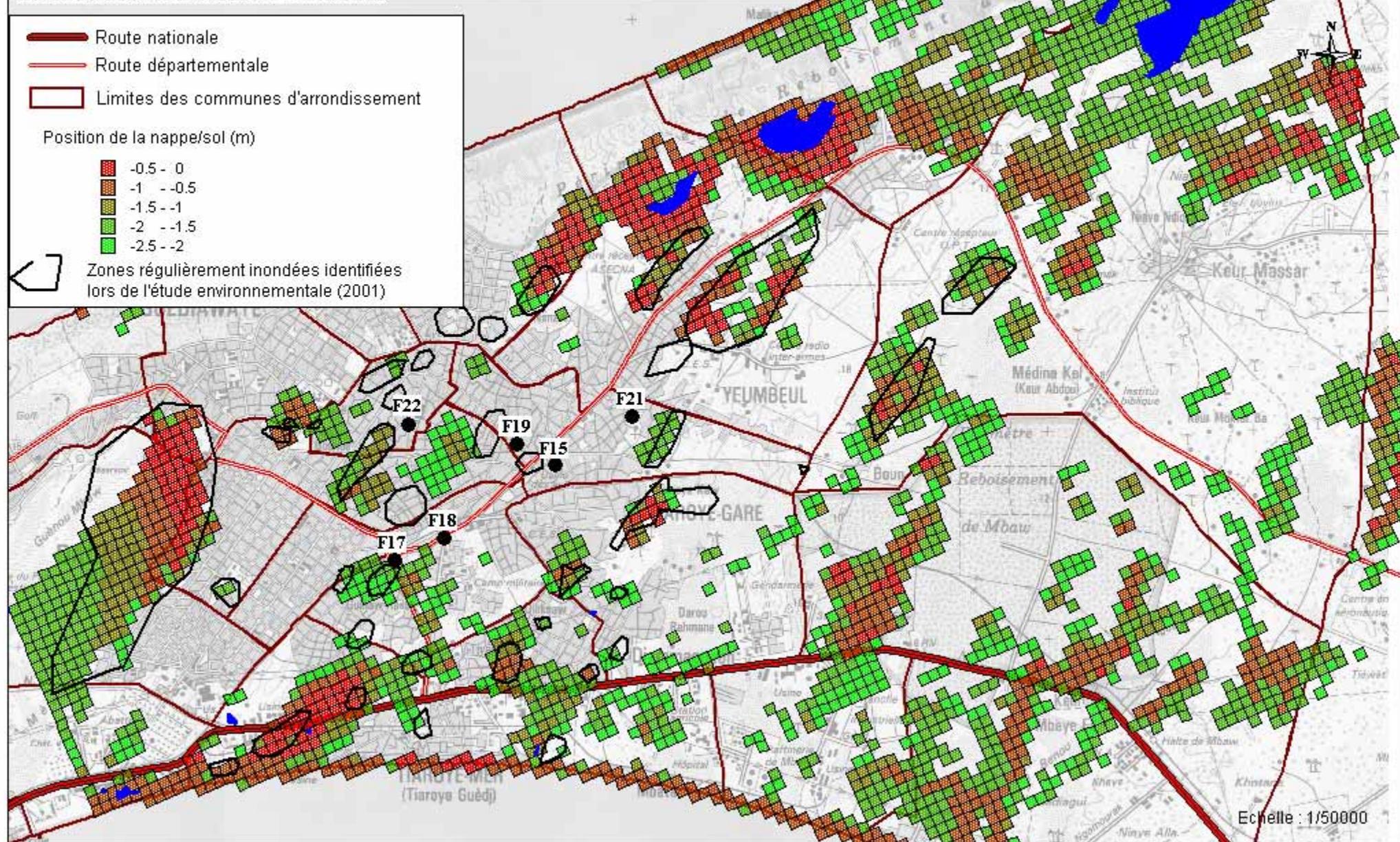
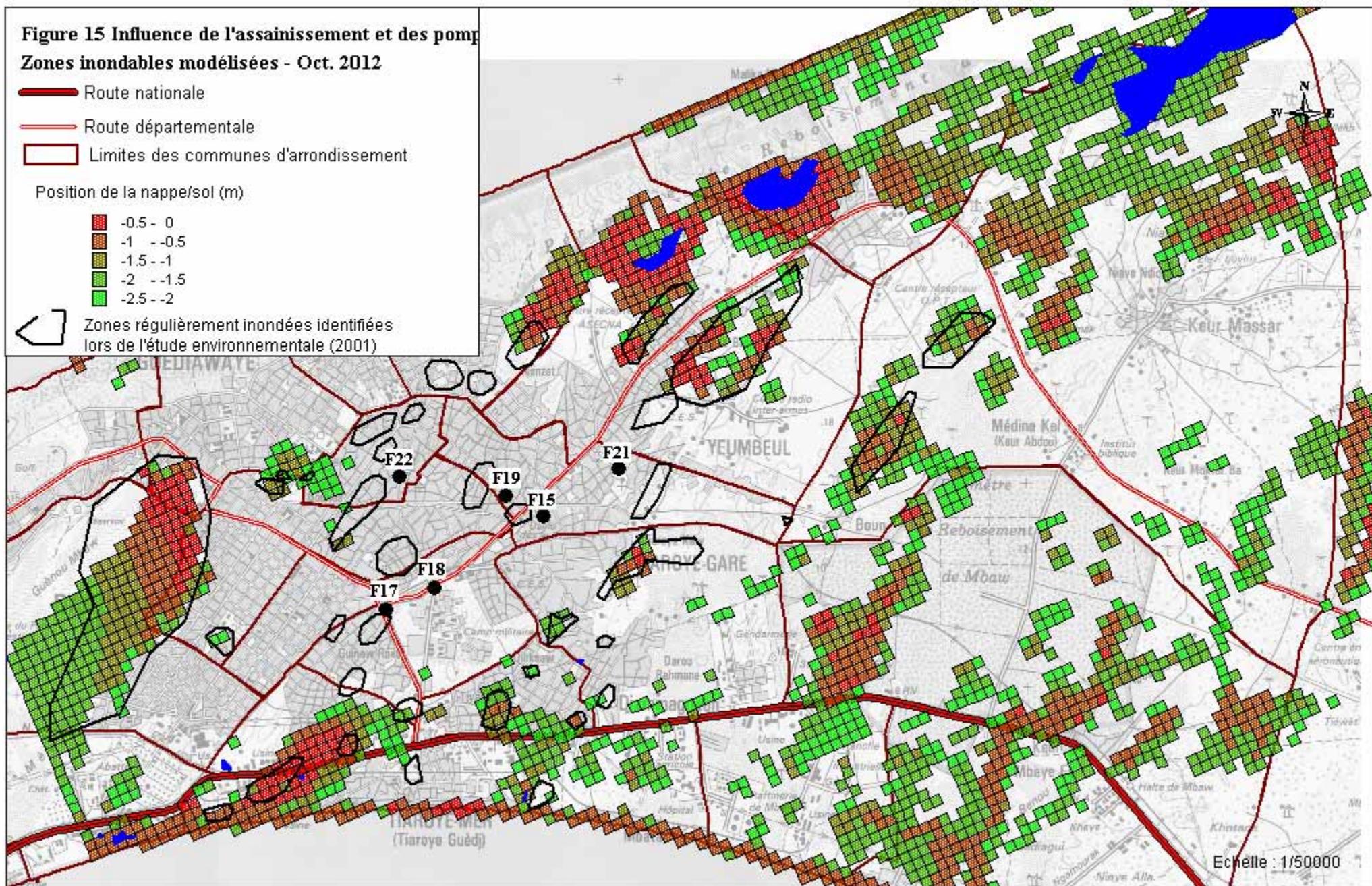


Figure 14 - Influence de l'assainissement et de l'arrêt des pompages
Zones inondables modélisées - Oct. 2012





3.6. Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité porte sur la pluviométrie et sur l'évolution des volumes distribués qui conditionne celle des rejets.

Dans l'objectif de limiter le nombre de scénarios à traiter, on commence par déterminer les contributions en débit associées à chacune des variables concernées par l'analyse de sensibilité.

3.6.1. Contribution respective des variations des paramètres.

Le tableau suivant rappelle les volumes distribués par secteur estimés pour l'année 2013 :

	Volumes distribués (m ³ /an)	Surface habitée (km ²)	Infiltration potentielle équivalente (mm/an)
Secteur 6	2 567 529	2.55	1006
Secteur 10	9 500 000	16.4	579.
Secteur 11	2 350 000	4	587.5
Secteur 12	2 600 000	7	371.

Tableau 3 : Volumes d'eau distribués par secteur

Une variation de 10% des volumes distribués représente donc, suivant le secteur, une variation de 37 à 100 mm/an de la recharge artificielle potentielle associée. Cette valeur est à mettre en balance avec la variation retenue pour la pluviométrie : +/-150 mm/an.

L'analyse de sensibilité sur la pluviométrie produira donc des résultats plus contrastés que celle sur l'évolution des rejets. Sachant que les valeurs haute et basse retenues pour la pluviométrie ont une probabilité faible d'être atteintes durant 10 ans de suite, on peut considérer que la prise en compte de valeurs extrêmes sur ce paramètre seul, borne correctement les évolutions futures.

3.6.2. L'arrêt des pompages serait-il envisageable si la pluviométrie reste faible pendant 10 ans ?

L'analyse du paragraphe 3.3 a montré que l'arrêt du champ captant aurait des conséquences déplorables en menaçant d'inondations de nombreux quartiers, ceci pour des hypothèses moyennes de pluviométrie et d'évolution des rejets. La variante testée a pour objectif de mesurer si un contexte de recharge artificielle et naturelle plus favorable (rejets réduits), modifierait sensiblement ces conclusions.

La simulation réalisée montre que, dans ce cas de figure, la situation à l'échéance hautes eaux 2012 serait globalement proche de la situation actuelle sur l'ensemble de la zone, exceptée dans l'environnement immédiat des forages F17 et F19. Le comblement du cône de rabattement induit par ces deux importants pompages, ne serait en effet pas compensé par la baisse de la pluviométrie dans leur voisinage. D'où la persistance d'inondations.

3.6.3. L'exploitation intensive (16 000 m³/j) du champ captant apporte-t-elle une solution si la pluviométrie reste élevée durant 10 ans ?

Ce scénario a pour objectif de tester l'efficacité du dispositif de pompage proposé face à des phénomènes de recharge importants. Les résultats de ce scénario (fig. 16) montrent que malgré le contexte défavorable, les zones situées dans le rayon d'influence du champ captant sont épargnées par les inondations. Il faut toutefois excepter les quartiers proches de Medina Gounass, qui malgré l'implantation du forage F30, restent vulnérables. Les prélèvements dans cette zone devraient probablement être augmentés au-delà de 1500 m³/j.

La situation est en revanche critique dans ce contexte pour les zones situées en dehors du rayon d'influence du champ captant. L'axe Malika, Yeumbeul, Thiaroye Gare et Thiaroye-Mer est fortement touché par les inondations. La simulation de ce jeu d'hypothèse pour les deux autres contextes de pompage (arrêt total ou débits actuels) conduiraient à des résultats similaires sur cet axe, avec en sus, des zones affectées dans l'emprise du champ captant. Leur simulation ne présente donc pas d'intérêt majeur.

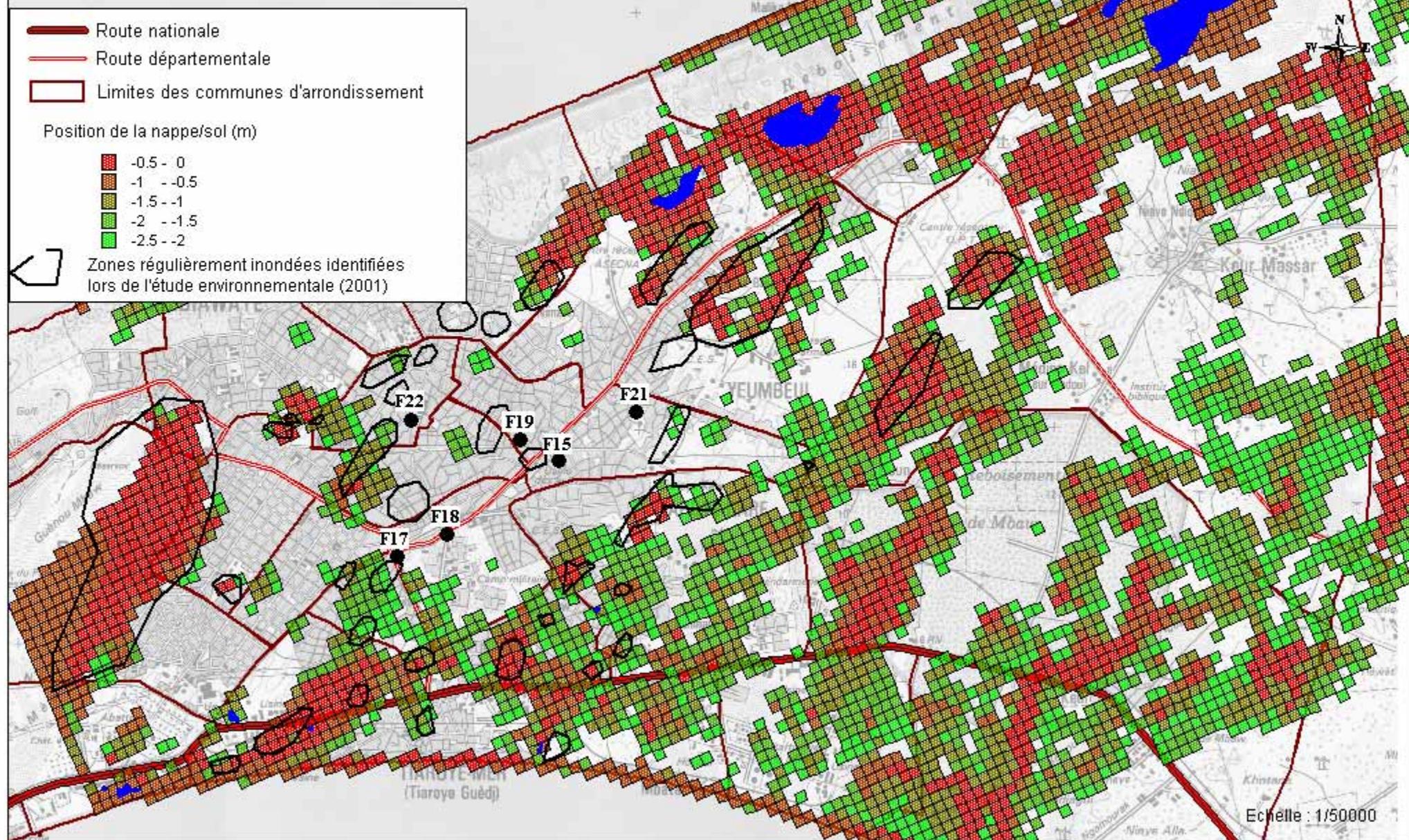
3.7. Conclusions intermédiaires

Trois remarques qui se dégagent de l'analyse qui précède :

- L'arrêt du champ captant sans aucune mesure compensatoire aurait des impacts considérables sur les populations des quartiers de Thiaroye-Pikine en raison des forts risques d'inondations encourus.
- L'exploitation intensive du champ captant (16000 m³/j) semble apporter une solution au problème dans un rayon de 2 km autour du forage F19. Une optimisation de l'implantation des forages, et notamment des forages F32 et F33 devrait limiter la progression du biseau salé
- La solution de pompage ne peut apporter de solution dans les zones situées en bordure de mer. Dans ces zones, le développement de l'assainissement constitue l'alternative incontournable.

Figure 16 - Influence de l'exploitation intensive du champ captant dans un contexte pluviométrique défavorable

Zones inondables modélisées - Oct. 2012



4. Impacts sur les surfaces occupées

4.1. Objectif et Méthodologie

Ce volet de l'étude a pour objectif de quantifier l'impact des différents scénarios simulés sur les surfaces concernées par le risque d'inondation. Cette estimation se base sur une analyse combinée du niveau de la nappe et de l'occupation des sols à deux dates distinctes :

- Octobre 2002 : état initial
- Octobre 2012 : échéance retenue pour l'observation de l'impact des différents scénarios.

La carte d'occupation des sols utilisée a été acquise auprès de la DTGC au format MAPINFO. Pour l'habitat, 5 catégories distinctes sont identifiées (cf. figure 17) :

- Habitat spontané à trame irrégulière
- Habitat spontané à trame régulière
- Habitat planifié (à petites parcelles)
- Habitat villageois traditionnel
- Habitat Nouveaux Logements

Pour les équipements et les activités économiques, 7 catégories (cf. figure 18) sont différenciées:

- Education et Culture
- Centres de santé
- Sécurité et domaines militaires
- Marchés
- Industries et entrepôts
- Services publics et Administration
- Lieux de culte et cimetières

Figure 17

Répartition de l'habitat

—	Routes urbaines	■	Habitat planifié
—	Route nationale	■	Habitat villageois traditionnel
—	Route départementale	■	Habitat spontané régulier
—	chemin de fer	■	Habitat spontané irrégulier
■	Lacs	■	Nouveaux logements
⊠	Limites du modèle		

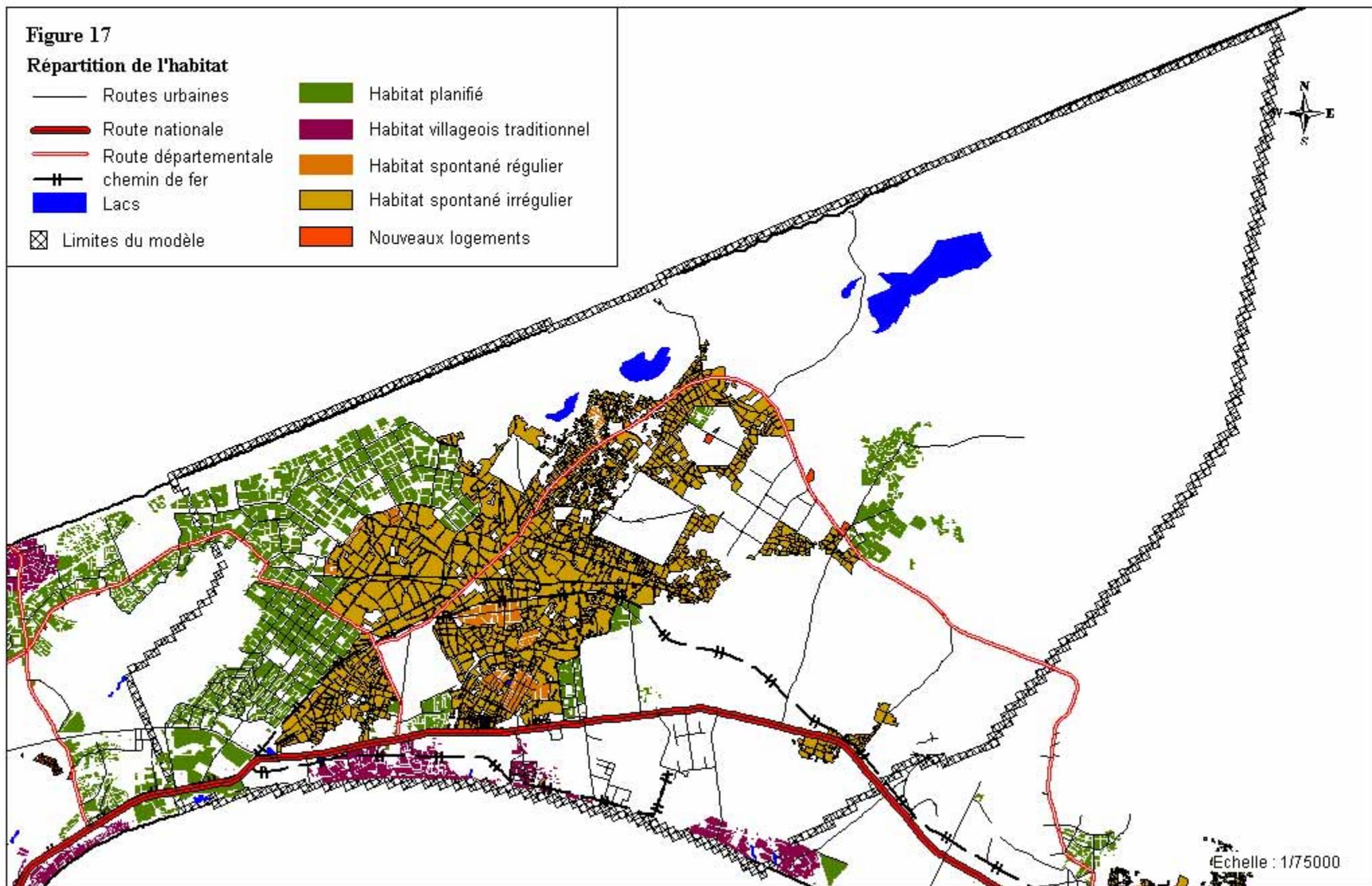
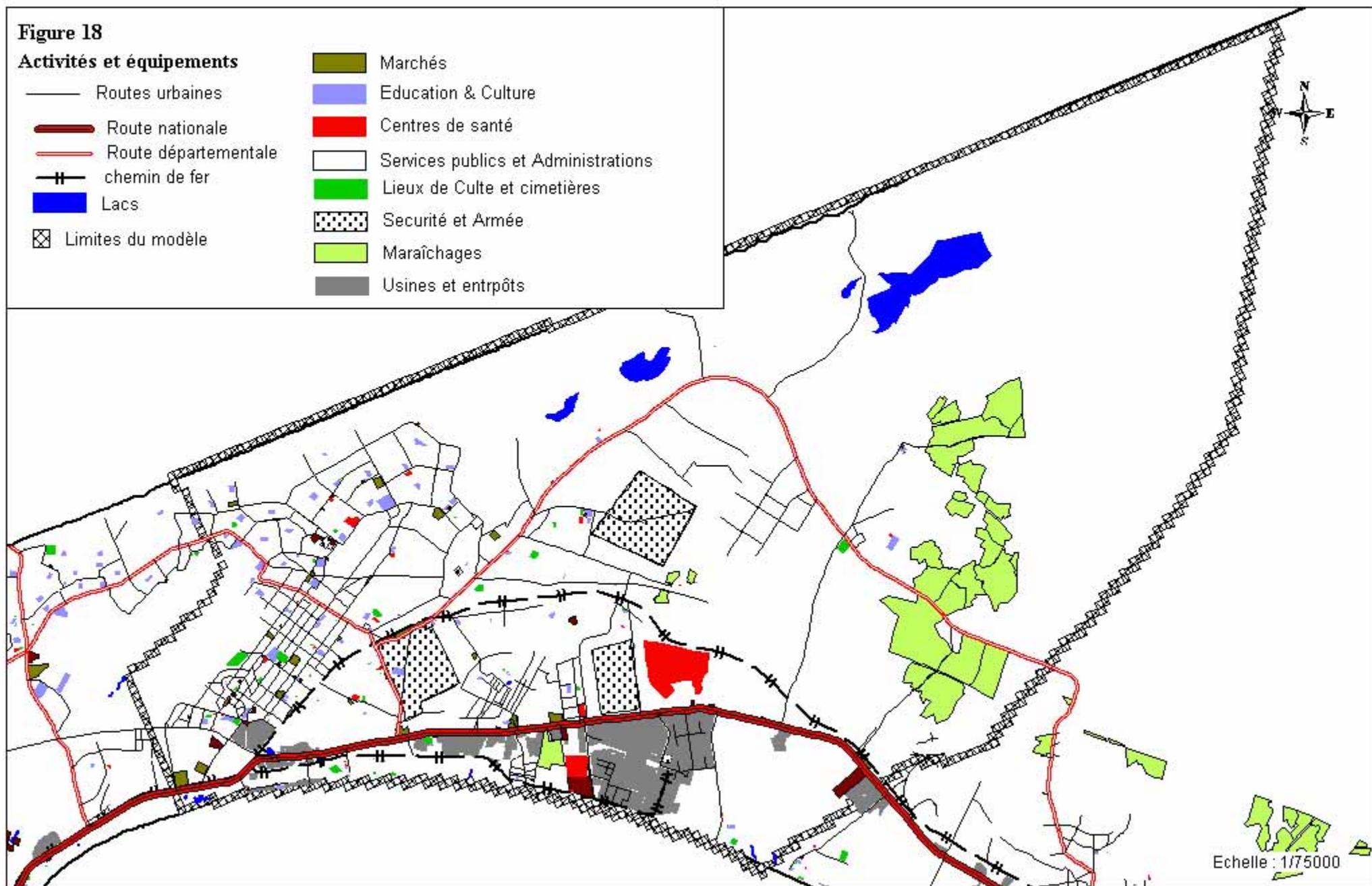


Figure 18

Activités et équipements

—	Routes urbaines		Marchés
	Route nationale		Education & Culture
	Route départementale		Centres de santé
	chemin de fer		Services publics et Administrations
	Lacs		Lieux de Culte et cimetières
	Limites du modèle		Securité et Armée
			Maraîchages
			Usines et entrpôts



Le calcul réalisé consiste à répartir à l'aide d'un outil SIG la surface totale de chacune de ces catégories dans les classes de profondeur de nappe par rapport au sol. On dénombre au total six classes :

Intitulé de la zone	Position de la nappe / sol	Echelle de risque vis-à-vis des inondations
Classe 1	Entre 0 et 0.5 m	Risque très fort
Classe 2	Entre 0.5 et 1 m	Risque fort
Classe 3	Entre 1 et 1.5 m	Risque moyen
Classe 4	Entre 1.5 et 2 m	Risque modéré
Classe 5	Entre 2 et 2.5 m	Risque faible
Classe 6	>2.5 m	Risque très faible

Tableau 4 : Classes de risques vis-à-vis des inondations

Remarques sur la méthode :

- *Cette approche doit être vue comme un complément à l'analyse des impacts environnementaux et socio-économiques réalisée par Senagrosol, fondée sur des investigations de terrain.*
- *Le calcul repose sur l'occupation des sols actuelle sans tenir compte d'une possible évolution sur les 10 prochaines années.*

4.2. Situation actuelle (Hautes eaux 2002) :

La répartition des catégories d'occupation du sol par classe de risques d'inondation est présentée dans le tableau 5.

L'habitat spontané à trame irrégulière est le plus touché par le risque d'inondation puisque 160 000 m² se situent en zone à risque très fort (nappe située entre 0 et 0.5 m de profondeur) et environ 260 000 m² se situent en zone à risque fort (nappe située entre 0.5 et 1 m de profondeur). La cumulé de ces deux classes représente 3.4% de la surface totale occupée par ce type d'habitat.

L'habitat villageois traditionnel occupe la seconde place du classement, avec 185 000 m² situés dans une zone à risque fort ou très fort. Ce type d'habitat est le plus touché en relatif avec un pourcentage de 20% de sa surface totale située en zone à risque fort ou très fort.

	Zone1 0 à 0.5m		Zone2 0.5 à 1		Zone3 1 à 1.5m		Zone4 1.5 à 2m		Zone5 2 à 2.5m		Zone6 >2.5m		Surface totale
	Surface (m2)	% surf. Totale	Surface (m2)	% surf. Totale	Surface (m2)	% surf. Totale	Surface (m2)	% surf. Totale	Surface (m2)	% surf. Totale	Surface (m2)	% surf. Totale	
Habitat spontané à trame irrégulière	160 241	1.3%	260 680	2.1%	472 157	3.8%	602 488	4.8%	1 111 012	8.8%	9 966 314	79.3%	12 572 892
Habitat spontané à trame régulière	0	0.0%	0	0.0%	19 901	3.2%	2 771	0.4%	39 363	6.2%	568 799	90.2%	630 833
Habitat planifié (à petites parcelles)	50 912	0.7%	80 844	1.1%	141 117	2.0%	189 907	2.6%	200 371	2.8%	6 565 964	90.8%	7 229 115
Habitat villageois traditionnel	49 521	4.5%	136 585	12.4%	93 710	8.5%	75 451	6.9%	76 745	7.0%	668 519	60.7%	1 100 532
Habitat Nouveaux Logements	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	4 743	10.2%	41 786	89.8%	46 528
Education & Culture	6 672	1.2%	12 063	2.3%	12 127	2.3%	10 306	1.9%	7 014	1.3%	486 002	91.0%	534 184
Centres de santé	984	0.5%	375	0.2%	1 596	0.8%	3 938	1.9%	18 195	8.7%	183 614	88.0%	208 702
Sécurité et domaines militaires	11 308	0.4%	5 310	0.2%	26 413	1.0%	45 062	1.7%	225 681	8.3%	2 392 727	88.4%	2 706 501
Marchés	0	0.0%	122	0.0%	754	0.2%	38 696	11.9%	46 292	14.2%	239 878	73.6%	325 742
Industries et entrepôts	39 971	1.2%	66 679	2.0%	113 390	3.5%	276 173	8.5%	610 791	18.7%	2 160 809	66.1%	3 267 813
Services publics et Administration	3 092	1.0%	459	0.2%	8 165	2.8%	10 307	3.5%	31 960	10.8%	241 196	81.7%	295 179
Lieux de culte et cimetières	243	0.1%	8 837	3.6%	7 395	3.0%	2 243	0.9%	13 826	5.6%	215 742	86.9%	248 285

Tableau 5 Répartition des catégories d'occupation du sol dans les classes de risques

4.3. Impact des rejets – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes

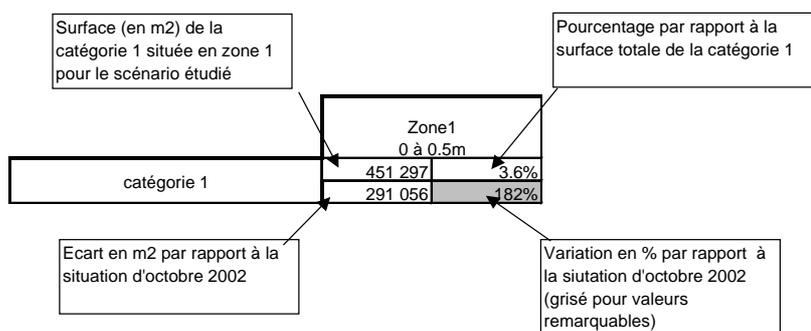
Le tableau 6 présente l'évolution de la répartition des surfaces par classe de risques dans l'hypothèse où aucune modification ne serait apportée au régime de pompage mais où le niveau de la nappe s'élèverait sous l'effet de l'augmentation des rejets.

Impact sur l'habitat :

Le développement des branchements à l'eau potable sera, dans les 10 prochaines années, principalement centré sur les zones d'habitat précaire. Ce progrès sera inévitablement accompagné d'une augmentation des quartiers touchés par les inondations. A l'échéance 2012, on peut prévoir un doublement des surfaces de type habitat spontané situé en zones inondables. L'analyse des variations de niveau de nappe réalisées au paragraphe 3.2 avait montré que les zones principalement touchées seraient celles situées sur l'axe Malika-Yeumbeul-Thiaroye-Gare.

L'habitat planifié n'est pas non plus épargné par l'augmentation du niveau de la nappe. A l'échéance 2012, 32 ha supplémentaire de ce type d'habitat seront susceptibles d'être touchés par les inondations.

Grille de lecture des tableaux



	Zone1 0 à 0.5m		Zone2 0.5 à 1		Zone3 1 à 1.5m		Zone4 1.5 à 2m		Zone5 2 à 2.5m		Zone6 >2.5m	
Habitat spontané à trame irrégulière	333 339	2.7%	349 873	2.8%	922 565	7.3%	908 096	7.2%	1 878 872	14.9%	8 180 146	65.1%
	173 099	108%	89 193	34%	450 408	95%	305 608	51%	767 860	69%	-1 786 168	-18%
Habitat spontané à trame régulière	7 721	1.2%	11 726	1.9%	20 339	3.2%	26 080	4.1%	93 402	14.8%	471 565	74.8%
	7 721	-	11 726	-	439	2%	23 309	841%	54 039	137%	-97 234	-17%
Habitat planifié (à petites parcelles)	63 821	0.9%	113 348	1.6%	169 582	2.3%	233 577	3.2%	325 949	4.5%	6 322 838	87.5%
	12 909	25%	32 504	40%	28 466	20%	43 670	23%	125 578	63%	-243 127	-4%
Habitat villageois traditionnel	64 479	5.9%	138 109	12.5%	90 915	8.3%	105 253	9.6%	58 564	5.3%	643 212	58.4%
	14 958	30%	1 524	1%	-2 796	-3%	29 802	39%	-18 181	-24%	-25 307	-4%
Habitat Nouveaux Logements	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	4 743	10.2%	0	0.0%	41 786	89.8%
	0	-	0	-	0	-	4 743	-	-4 743	-100%	0	0%
Education & Culture	10 331	1.9%	17 688	3.3%	5 582	1.0%	15 200	2.8%	17 959	3.4%	467 424	87.5%
	3 660	55%	5 625	47%	-6 545	-54%	4 894	47%	10 945	156%	-18 578	-4%
Centres de santé	984	0.5%	1 577	0.8%	688	0.3%	21 766	10.4%	12 118	5.8%	171 569	82.2%
	0	0%	1 202	320%	-908	-57%	17 828	453%	-6 077	-33%	-12 045	-7%
Sécurité et domaines militaires	16 515	0.6%	27 667	1.0%	63 974	2.4%	244 519	9.0%	370 614	13.7%	1 983 212	73.3%
	5 207	46%	22 357	421%	37 560	142%	199 457	443%	144 934	64%	-409 515	-17%
Marchés	122	0.0%	0	0.0%	6 120	1.9%	77 095	23.7%	3 977	1.2%	238 429	73.2%
	122	-	-122	-100%	5 366	712%	38 399	99%	-42 316	-91%	-1 449	-1%
Industries et entrepôts	40 404	1.2%	128 785	3.9%	149 232	4.6%	402 804	12.3%	620 472	19.0%	1 926 115	58.9%
	434	1%	62 106	93%	35 842	32%	126 631	46%	9 681	2%	-234 694	-11%
Services publics et Administration	3 092	1.0%	7 699	2.6%	10 398	3.5%	7 590	2.6%	40 190	13.6%	226 211	76.6%
	0	0%	7 240	1578%	2 233	27%	-2 717	-26%	8 230	26%	-14 986	-6%
Lieux de culte et cimetières	243	0.1%	14 649	5.9%	1 583	0.6%	6 669	2.7%	15 669	6.3%	209 473	84.4%
	0	0%	5 812	66%	-5 812	-79%	4 426	197%	1 843	13%	-6 269	-3%

Tableau 6 - Répartition des surfaces – effet des rejets

Impact sur les activités et infrastructures

Aucune des catégories n'est épargnée par l'extension des inondations sous l'effet de l'augmentation des rejets. Les secteurs les plus touchés sont : les industries et entrepôts avec 6 ha de pertes, les domaines militaires avec 2 ha de pertes. Les centres de santé sont relativement épargnés comparés à la catégorie « éducation-culture » avec pas moins de 9 000 m² supplémentaires placés en zone à risque fort ou très fort.

4.3.1. Impact de l'arrêt des pompes – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes

Impact sur l'habitat :

Dans l'hypothèse d'un arrêt total du champ captant de Thiaroye, l'habitat spontané à trame irrégulière serait le plus durement touché par les remontées de nappe. Une progression de 182% de la surface située en zone à risque très fort et une progression de 247% de la surface située en zone à risque fort seraient enregistrées. Cette perspective placerait 10% (1 355 534 m²) de ce type d'habitat en zone avec risque fort à très fort.

Ensuite la plus forte progression est celle de l'habitat traditionnel à petites parcelles qui voit une progression de 30% en zone 1 (risque très fort) et 87% en zone 2 (risque fort), représentant au total une « perte » de surface de 85 000 m².

Impact sur les activités et infrastructures

L'arrêt des pompage induira une forte dégradation sur l'ensemble des catégories citées. La catégorie « Sécurité et domaines militaires » voit 8.2 ha de terrain supplémentaires touchés par les inondations. Même s'il peut s'agir de terrain d'entraînement, le dommage est important.

Les activités économiques sont elles aussi fortement touchées : les marchés enregistrent une perte de surface de 12 000 m². Cette perspective risque d'avoir des impacts économiques désastreux pour de nombreuses familles vivant du commerce. La perte de 72000 m² dans la catégorie Industries et entrepôts pourrait être à l'origine de fermetures.

	Zone1 0 à 0.5m		Zone2 0.5 à 1		Zone3 1 à 1.5m		Zone4 1.5 à 2m		Zone5 2 à 2.5m		Zone6 >2.5m	
Habitat spontané à trame irrégulière	451 297	3.6%	904 237	7.2%	890 825	7.1%	1 564 904	12.4%	1 425 851	11.3%	7 335 778	58.3%
	291 056	182%	643 556	247%	418 668	89%	962 417	160%	314 839	28%	-2 630 536	-26%
Habitat spontané à trame régulière	12 817	2.0%	7 366	1.2%	25 209	4.0%	165 894	26.3%	81 070	12.9%	338 477	53.7%
	12 817	-	7 366	-	5 308	27%	163 124	5887%	41 707	106%	-230 322	-40%
Habitat planifié (à petites parcelles)	65 721	0.9%	150 786	2.1%	182 821	2.5%	293 345	4.1%	337 468	4.7%	6 198 974	85.8%
	14 810	29%	69 942	87%	41 704	30%	103 438	54%	137 097	68%	-366 990	-6%
Habitat villageois traditionnel	64 479	5.9%	138 904	12.6%	90 120	8.2%	105 703	9.6%	58 114	5.3%	643 212	58.4%
	14 958	30%	2 319	2%	-3 591	-4%	30 252	40%	-18 631	-24%	-25 307	-4%
Habitat Nouveaux Logements	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	4 743	10.2%	0	0.0%	41 786	89.8%
	0		0		0		4 743		-4 743	-100%	0	0%
Education & Culture	11 466	2.1%	18 272	3.4%	11 075	2.1%	26 017	4.9%	30 587	5.7%	436 767	81.8%
	4 795	72%	6 209	51%	-1 052	-9%	15 711	152%	23 573	336%	-49 235	-10%
Centres de santé	984	0.5%	1 972	0.9%	994	0.5%	21 213	10.2%	21 114	10.1%	162 425	77.8%
	0	0%	1 596	425%	-602	-38%	17 275	439%	2 919	16%	-21 189	-12%
Sécurité et domaines militaires	59 855	2.2%	87 484	3.2%	185 957	6.9%	292 216	10.8%	339 950	12.6%	1 741 039	64.3%
	48 548	429%	82 174	1548%	159 544	604%	247 154	548%	114 269	51%	-651 688	-27%
Marchés	1 293	0.4%	12 480	3.8%	12 505	3.8%	65 069	20.0%	24 675	7.6%	209 720	64.4%
	1 293		12 358	10165%	11 751	1559%	26 373	68%	-21 618	-47%	-30 158	-13%
Industries et entrepôts	40 404	1.2%	138 812	4.2%	149 231	4.6%	405 180	12.4%	628 122	19.2%	1 906 064	58.3%
	434	1%	72 133	108%	35 841	32%	129 007	47%	17 331	3%	-254 746	-12%
Services publics et Administration	3 092	1.0%	7 699	2.6%	10 610	3.6%	7 865	2.7%	40 432	13.7%	225 481	76.4%
	0	0%	7 240	1578%	2 445	30%	-2 442	-24%	8 472	27%	-15 715	-7%
Lieux de culte et cimetières	243	0.1%	14 649	5.9%	2 193	0.9%	12 059	4.9%	17 511	7.1%	201 630	81.2%
	0	0%	5 812	66%	-5 202	-70%	9 816	438%	3 686	27%	-14 112	-7%

Tableau 7 - Répartition des surfaces – effet de l'arrêt des pompages

4.3.2. *Impact de l'exploitation intensive du champ captant – Hypothèses de rejets et de pluviométrie moyennes*

Impact sur l'habitat :

La mise en place d'une batterie de forages extrayant 16000 m³/j de la nappe de Thiaroye ne suffira pas à enrayer l'étendue des inondations affectant l'habitat spontané. 80 ha supplémentaires seront vraisemblablement touchés par ce phénomène. On constate toutefois que le gain par rapport à un scénario où les pompages resteraient identiques à ceux rencontrés aujourd'hui est significatif : 163 ha d'habitat spontané pourraient être épargnés.

Impact sur les équipements et infrastructures

Les catégories « centres de santé » et « services publics administration » tirent pleinement bénéfice de cette solution technique. La proportion de surface situées en zone à risque fort ou très fort, pour ces deux catégories, est extrêmement faible.

Il est décevant de constater que la catégorie « éducation culture » ne semble pas bénéficier de la solution.

	Zone1 0 à 0.5m		Zone2 0.5 à 1		Zone3 1 à 1.5m		Zone4 1.5 à 2m		Zone5 2 à 2.5m		Zone6 >2.5m	
Habitat spontané à trame irrégulière	203 789	1.6%	298 408	2.4%	397 566	3.2%	496 828	4.0%	1 119 540	8.9%	10 056 762	80.0%
	43 548	27%	37 728	14%	-74 591	-16%	-105 659	-18%	8 527	1%	90 448	1%
Habitat spontané à trame régulière	0	0.0%	0	0.0%	13 685	2.2%	19 075	3.0%	30 794	4.9%	567 279	89.9%
	0	-	0	-	-6 215	-31%	16 304	588%	-8 569	-22%	-1 520	0%
Habitat planifié (à petites parcelles)	19 171	0.3%	88 947	1.2%	182 980	2.5%	185 625	2.6%	204 991	2.8%	6 547 401	90.6%
	-31 740	-62%	8 102	10%	41 864	30%	-4 283	-2%	4 621	2%	-18 563	0%
Habitat villageois traditionnel	64 479	5.9%	138 109	12.5%	90 872	8.3%	90 238	8.2%	69 663	6.3%	647 170	58.8%
	14 958	30%	1 524	1%	-2 839	-3%	14 787	20%	-7 082	-9%	-21 349	-3%
Habitat Nouveaux Logements	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	4 743	10.2%	41 786	89.8%
	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0%	0	0%
Education & Culture	7 497	1.4%	12 483	2.3%	4 486	0.8%	10 480	2.0%	14 147	2.6%	485 092	90.8%
	825	12%	420	3%	-7 641	-63%	173	2%	7 133	102%	-910	0%
Centres de santé	0	0.0%	375	0.2%	2 298	1.1%	19 371	9.3%	3 772	1.8%	182 886	87.6%
	-984	-100%	0	0%	702	44%	15 433	392%	-14 423	-79%	-727	0%
Sécurité et domaines militaires	9 487	0.4%	7 496	0.3%	62 064	2.3%	81 764	3.0%	235 167	8.7%	2 310 524	85.4%
	-1 821	-16%	2 186	41%	35 651	135%	36 702	81%	9 486	4%	-82 204	-3%
Marchés	122	0.0%	0	0.0%	2 606	0.8%	62 436	19.2%	8 754	2.7%	251 824	77.3%
	122	-	-122	-100%	1 852	246%	23 741	61%	-37 538	-81%	11 945	5%
Industries et entrepôts	40 404	1.2%	90 932	2.8%	165 924	5.1%	364 776	11.2%	643 597	19.7%	1 962 179	60.0%
	434	1%	24 253	36%	52 533	46%	88 604	32%	32 806	5%	-198 630	-9%
Services publics et Administration	716	0.2%	459	0.2%	10 582	3.6%	4 081	1.4%	34 236	11.6%	245 105	83.0%
	-2 375	-77%	0	0%	2 417	30%	-6 226	-60%	2 276	7%	3 908	2%
Lieux de culte et cimetières	150	0.1%	9 481	3.8%	5 024	2.0%	936	0.4%	20 702	8.3%	211 993	85.4%
	-93	-38%	644	7%	-2 372	-32%	-1 307	-58%	6 876	50%	-3 749	-2%

Tableau 8 - Répartition des surfaces – effet d'une exploitation intensive

5. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ECONOMIQUES (SENAGROSOL)

5.1. Rappel sur la problématique actuelle des inondations

Dans la majorité des sites inondables ou inondés identifiés dans l'étape A de l'étude environnementale, les inondations se sont produites depuis la création du quartier même si le phénomène est devenu plus important ces dernières années. Les inondations apparaissent pendant l'hivernage tandis que dans plusieurs endroits l'eau stagne plusieurs mois après la fin des pluies. Dans ces cas, on peut considérer que l'inondation est essentiellement le fait de la nappe.

Dans d'autres sites, même si l'eau n'est pas remontée jusqu'en surface, l'humidité du sol reflète sa proximité. Dans ces localités, il suffit d'une petite pluie pour que l'inondation apparaisse. Dans chaque quartier, ce sont généralement les zones les plus basses qui sont concernées.

Dans les quartiers touchés par les inondations, les populations sont confrontées à d'énormes difficultés, pendant l'hivernage surtout. A la dégradation du cadre de vie s'ajoute une situation sanitaire préoccupante caractérisée par une forte incidence de maladies liées et / ou au péril fécal. Par ailleurs, la détérioration de bâtiments (publics et privés) et des infrastructures routières font partie des impacts négatifs des inondations dans ces quartiers.

Des enquêtes réalisées dans ces quartiers il est ressorti que la durée moyenne d'occupation des parcelles est de 13, 4 ans, sur un intervalle de 1 à 40 ans. Ainsi, si certains occupants de ces quartiers se sont installés à une période où les inondations n'avaient pas encore une certaine ampleur (62 %), d'autres par contre, installés récemment dans ces localités devraient connaître l'existence des problèmes d'inondation. En effet c'est au cours des dix dernières années que le phénomène des inondations a progressivement pris de l'ampleur avec la hausse des rejets domestiques et la diminution des pompes dans le champ captant de Thiaroye.

La majorité des occupants (94 %) affirme avoir acheté leurs parcelles, tandis que des constructions en dur sont réalisées sur plus de 90 % des parcelles. L'estimation de la valeur des maisons par leurs propriétaires a montré que 15 % des 186 maisons ont une valeur inférieure à un million de FCFA, 80 % ont une valeur comprise entre 1 et 5 millions, tandis que la valeur de chacune des maisons qui constitue les 5 % restant est estimée entre 5 et 10 millions.

La population totale concernée par cette enquête est de 2.506 habitants répartis dans 186 parcelles. Elle est constituée de 18 % d'enfants de moins 5 ans, 31 % de femmes âgées de 15 – 55 ans et 6.2 % de personnes de + 60 ans.

Dans ces zones, le caractère permanent des inondations montre qu'elles sont fortement liées à la position affleurante de la nappe.

5.2. Description des sites concernés par une remontée de la nappe dans un contexte d'arrêt des pompages

5.2.1. Description générale des zones

A partir de la cartographie des zones inondables en cas d'arrêt des forages, SENAGROSOL a dressé l'inventaire des communes d'arrondissement touchées :

- Yeumbeul Nord ;
- Yeumbeul Sud ;
- Wakhinane Nimzatt ;
- Médina Gounass ;
- Sam Notaire ;
- Djidah Thiaroye Kaw ;
- Thiaroye Gare ;
- Diamaguene Sicap Mbao ;
- Guinaw Rail Nord.

Pour chaque commune d'arrondissement, l'identification précise des quartiers touchés a été effectuée.

A l'issue de ces identifications, des enquêtes ont été menées au niveau de ces quartiers pour s'informer de la situation de leur occupation, notamment l'existence d'infrastructures et d'équipements publics et/ou collectifs, en vue d'apprécier l'importance des impacts de la remontée de la nappe.

Les quartiers concernés par le phénomène dans chaque commune d'arrondissement sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Commune d'Arrondissement	Quartier(s)
Yeumbeul Nord	Wakhinane Nimzatt 2; Darou Rakhmane 1 ;
Yeumbeul Sud	Médina Thiaroye Kaw IV (Ndago Fall); Quartier Cheikh Touré
Wakhinane Nimzatt	
Médina Gounass	Aly Kane ; Amadou Hann ; Diab NIANG; Samba Wade ; Arona Sall;

	Alassane Ndiol; Sidy Touré
Sam Notaire	cité Dioumkhobe
Djidah Thiaroye Kaw	Ainoumane ; Mousdalifa 1 et 2 ; Mousdalifa 3 ; Médina 5 ; Médina 4 ; Manéré ; Darou Rahmane ; Léona 2 ; Gouye Salame ; Lansar
Thiaroye Gare	Amdallaye
Diamaguene Sicap Mbao	
Guinaw Rail Nord	Cheikkh Wade ; Malick Fall

Tableau 9 : Quartiers concernés par une remontée du niveau de la nappe consécutive à l'arrêt des pompages actuels

La taille des quartiers varie entre 120 et 3.000 parcelles avec une moyenne de 650 parcelles par quartier. Ainsi on peut évaluer à 16.250 le nombre de parcelles qui risquent d'être affectées. En estimant le nombre moyen d'habitants à 15 par parcelle, on se retrouve avec une population totale de 243 750 personnes.

Ces quartiers sont relativement anciens ; l'âge moyen est de 29 ans environ sur un intervalle d'âge compris entre 12 et 42 ans.

La genèse de ces quartiers est caractérisée par la spontanéité de l'occupation de l'espace par les exclus du système moderne d'allocation de logements constitués par les couches sociales les plus pauvres, surtout celles provenant de l'exode rural, qui avaient adopté une stratégie d'occupation irrégulière de terrains urbains.

Aucun des ces quartiers n'est pourvu d'un système d'assainissement municipal; ce qui se comprend, puisque ayant été érigés de manière irrégulière, sans plan d'urbanisme. Concernant l'infrastructure, la moitié de ces quartiers est traversée par une route bitumée ; la plupart ont au moins une mosquée ; une école et un poste de santé.

Pour faire face aux nombreuses difficultés occasionnées par les inondations aux conditions de vie très précaires de façon générale dans ces quartiers, l'Etat a adopté une stratégie consistant à créer les conditions de leur intégration dans le tissu urbain en cherchant à leur donner une existence légale. C'est ainsi qu'un projet pilote de restructuration et de régularisation foncière a été mis en œuvre en 1986. L'expérience a été jugée concluante et sa réplique est envisagée dans 8 quartiers de Pikine dans le cadre d'un vaste programme piloté par le ministère en charge de l'urbanisme qui

bénéficie de l'appui de partenaires au développement. Cependant les lenteurs observées dans le processus font que les problèmes perdurent

5.2.2. Description détaillée de la situation actuelle des quartiers susceptibles d'être touchés

5.2.2.1. quartiers de Yeumbeul Nord

Dans la commune de Yeumbeul Sud le quartier concerné par la remontée de la nappe est dénommé **Wakhinane Nimzatt**, notamment dans sa partie Ouest qui est une zone basse par rapport à la partie Est plus élevée. Cette partie Ouest qui subit des inondations pendant l'hivernage abrite une des deux écoles du quartier, le poste de santé, le marché et l'une des rares routes desservant la localité.

L'habitat est constitué de maisons en dure et plusieurs d'entre elles sont à étage. Les voies sont très larges en général, mais sans revêtement. Le quartier ne bénéficie pas de réseau d'égout, mais d'un projet d'assainissement autonome en cours de réalisation.

5.2.2.2. quartiers de Yeumbeul Sud

Deux quartiers sont susceptibles d'être affectés par la remontée de la nappe : **Médina Thiaroye Kaw IV** situé au Sud – Est du forage F21 et le quartier **Cheikh Touré** au Nord – Ouest du forage F19.

Le quartier **Médina Thiaroye Kaw IV** est caractérisé par une topographie constituée de zones dépressionnaires et de zones élevées. La voirie est constituée de rues non revêtues (sable) assez larges. L'essentiel des constructions sont en dur avec plusieurs maisons à étage. Il n'existe pas de réseau d'assainissement.

Les inondations se produisent dans les zones basses et pendant la saison des pluies uniquement. Selon les habitants du quartier, la durée de stagnation de l'eau n'excède pas dix jours.

Dans ce quartier, il n'y a pas de marché, de dispensaire, ni d'école. Il existe une mosquée dont la construction se poursuit. Située sur un point bas, la mosquée est inondée par les eaux de pluie.

La partie ouest du quartier **Cheikh Touré** est, elle aussi sur une zone basse, ce qui en fait la partie inondée du quartier. Les inondations surviennent avec les pluies. La nappe est très proche car elle est située à environ un mètre du sol.

L'habitat est en dur ; il n'existe pas de réseau d'assainissement, ni d'école, de dispensaire ou de mosquée.

5.2.2.3. *quartiers de Médina Gounass*

Cette commune d'arrondissement constitue une zone d'habitation spontanée, non lotie. Il n'y a pas d'école publique, ni de marché. Le poste de santé est abandonné. La seule route qui traverse la localité est la route **Tally Boubess** prolongée qui est non plus épargnée par les eaux de pluie pendant toute la période d'hivernage.

Un projet de restructuration financé par l'AFD serait en cours d'étude et prévoit le lotissement de la zone et un système de collecte et d'évacuation des eaux des rues vers des bassins de rétention.

Dans le quartier **Aly Kane** ex **Thierno Kane**, il y a quatre mosquées dont l'une est inondée au point d'être abandonnée.

Au quartier de **Amadou Hann**, la mosquée qui date de 1966 est inondée en partie. La cour de l'école privée s'inonde pendant l'hivernage.

Au quartier de **Diab NIANG**, les alentours de la grande mosquée (créée en 1963) sont inondés.

Au quartier **Samba Wade**, du fait de l'inondation de la cours de la mosquée, celle-ci n'est plus fréquentée par les fidèles.

Au quartier **Arona Sall**, la grande mosquée âgée de plus de 25 ans est fréquemment inondée. Elle jouxte le dispensaire abandonné depuis sept ans du fait des inondations.

Le quartier de **Alassane Ndiol**, il y a une mosquée construite en 1974 et abandonnée depuis cinq ans car envahie par les eaux jusqu'aux fenêtres.

Au quartier de **Sidy Touré** la mosquée est toujours inondée malgré les efforts que consentissent les populations pour juguler le phénomène (pompage, remblai).

5.2.2.4. *quartiers de Sam Notaire*

Le quartier de **cité Dioumkhobe** est concerné par les inondations. Les mosquées qui datent d'une trentaine d'années sont inondées quand il pleut et l'eau y stagne pendant dix jours environ. Au niveau de ce quartier, les deux écoles ont fait l'objet d'inondation en 2001 et 2003.

Dans cette commune d'arrondissement, la partie la plus basse est la zone du stade **Amadou Barry** où sont drainées (naturellement) les eaux de ruissellement ; ce qui constitue une entrave à l'utilisation optimale de l'infrastructure.

La case foyer des femmes de **Pikine - Guédiawaye** inaugurée en 1997 se trouve aussi sous les eaux. Quand il pleut, la cours est inondée pendant quelques jours, ce qui ralentit les activités (teinture notamment) exercées dans ces lieux.

5.2.2.5. *quartiers de Djidah Thiaroye Kaw*

L'inventaire des infrastructures publiques a permis de déceler l'existence de :

- 05 Ecoles primaires
- 02 Dispensaires
- 03 Postes de santé
- 01 Case de santé
- 43 Mosquées
- 02 Eglise
- 03 Marchés
- 01 Commissariat de Police
- 01 Centre Socioculturel
- 01 Route

Les quartiers (et les infrastructures qu'ils renferment) sont affectés par les inondations à des degrés divers.

Le Quartier **Ainoumane** n'est pas sérieusement touché par les inondations présentement. Seule l'une des deux mosquées est agressée par les eaux de ruissellement pendant l'hivernage, occasionnant un ravinement à l'entrée de l'édifice.

Aux quartiers **Mousdalifa 1 et 2** une mosquée sur les trois est touchée par les inondations, et ce pendant l'hivernage ; ce qui fait la mosquée est fermée pendant cette période. La Case de santé qui polarise les quartiers de Mousdalifa 1 à 4 n'est pas concernée par les inondations.

L'une des deux mosquées du quartier **Mousdalifa 3** est détruite par les eaux qui l'inondent en permanence contrairement au marché qui n'est pas touché actuellement par les inondations

Au quartier de **Médina 5** l'une des deux mosquées est inondée pendant l'hivernage.

C'est également le cas de l'une des trois mosquées du quartier **Médina 4**. Construite en 1965 l'édifice est inondé pendant l'hivernage.

Le même phénomène prévaut au niveau d'une mosquée du quartier de **Manéré**. Située sur le point le plus bas du quartier, elle est inondée pendant l'hivernage.

Au quartier **Léona 2**, l'une des trois mosquées est soumise à une inondation permanente, ce qui fait qu'elle est en abandon depuis 03 ans ; une autre connaît des inondations moins importantes puisque localisés au niveau de la cour.

Au quartier **Darou Rahmane** l'une des trois mosquées est abandonnée depuis plus de 5 ans parce qu'inondée en permanence.

Dans le quartier **Gouye Salame** il existe une mosquée, une école primaire et un poste de santé. Ces infrastructures ne sont pas affectées par les inondations qui surviennent de manières temporaires et en période d'hivernage.

Une mosquée du quartier **Lansar** construite dans les années 68 est actuellement abandonnée parce qu'elle est envahie par les eaux. L'autre mosquée (datant des années 66) est soumise à des inondations tout autour, rendant l'accès à l'édifice difficile.

La route de Niety Mbar qui passe à l'intérieur de la commune d'arrondissement de Djidah Thiaroye Kao est inondée par endroit, rendant la circulation un peu contraignante à ces endroits.

5.2.2.6. quartiers de Thiaroye Gare

Il existe deux écoles primaires, deux collèges et un lycée à Thiaroye Gare. Ces infrastructures sont situées dans des zones élevées donc sont à l'abri d'inondation.

Le dispensaire construit depuis 1959 n'a connu aucune inondation jusqu'en 2002. Mais en 2003, les eaux de ruissellement ont envahi la cour du dispensaire mais sans effet majeur. Il faut noter que ce dispensaire est fermé depuis 2001 pour faute de moyens.

Quatre mosquées ont été recensées dont deux grandes. Ces lieux de culte ne sont pas inondés.

Le marché, l'un des lieux les plus fréquentés de la commune, est affecté par l'inondation.

Le quartier Amdallaye dans sa partie dépressionnaire est le plus soumis aux inondations. Il constitue un versant par rapport aux autres. Des eaux y stagnent encore.

Les infrastructures routières sont les plus affectées par l'inondation. Les axes concernés sont la 102 allant de la station d'essence juste au niveau du marché Ndiobène Taye jusqu'à Yeumbeul et l'axe Poste Thiaroye – croisement Tally Diallo.

Il est prévu selon l'adjoint au Maire de creuser un canal allant du marché vers le camp militaire pour évacuer les eaux stagnantes.

5.2.2.7. Description des quartiers de Guinaw Rail Nord

Elle abrite une population estimée à 35 000 habitants répartie au sein de 12 quartiers.

Les infrastructures recensées sont : une école publique ; quatre (04) mosquées et un poste de santé. Toutes ces infrastructures sont situées dans des zones inondables à l'exception de trois (03) mosquées.

A l'école de Thiaroye Guinaw rail nord l'impact négatif des inondations se perçoit sur les poses des murs, et l'humidité quasi permanente au niveau des salles de classe du fait de la remontée par capillarité.

Au poste de santé de Sangomar, l'eau stagne pendant plus de 3 mois, occasionnant des désagréments au niveau du personnel soignant et des populations. Lesquels désagréments sont entre autres : l'accès difficile ; la prolifération des insectes et des herbes sauvages ; des nuisances (odeur nauséabonde). Parmi les conséquences on peut citer l'abandon par le chef de poste de son logement, un taux de fréquentation faible voire nul en certaines périodes.

Située au même niveau, la mosquée de « Waranka 3 est un réceptacle d'eaux.

D'après le maire de la commune d'arrondissement, onze (11) millions de francs CFA ont été consacrés aux travaux en 2002 (429 camions de 8 m³ de sable pour le remblai en plus du carburant de soutien donné aux sapeurs pompiers), pour l'année en cours, un budget prévisionnel de dix (10) millions sera consacré aux travaux de pompage et de remblai, lesquels ont déjà débuté au niveau des quartiers **Cheikkh Wade** et **Malick Fall**.

5.3. ANALYSE DES IMPACTS DE L'ARRET DES POMPAGES

5.3.1. Identification des impacts

Selon les résultats de simulation d'arrêt des pompages, le niveau piézométrique va remonter pour se retrouver entre -2,5 et 0 mètres par rapport au sol selon la zone.

Avec l'absence de réseau d'assainissement dans ces quartiers, les eaux de ruissellement (qui ont fortement augmenté des dernières années) et les eaux domestiques vont contribuer à accélérer le niveau de saturation du sol qui arrivera à un point tel que tout apport supplémentaire sera voué à l'écoulement. A partir de ce moment on assistera à des inondations permanentes dans ces quartiers.

En somme, on peut considérer que les problèmes inhérents aux inondations vont s'accroître dans les quartiers ou zones déjà affectés, tandis que d'autres, épargnés jusque là pourraient commencer à faire face au phénomène.

La véracité de cette hypothèse a d'ailleurs été vérifiée au cours d'une mission effectuée lors de l'étape A de l'étude environnementale. En effet l'arrêt temporaire du forage F22 pendant cinq mois (pour cause de réparation) nous avait donné l'opportunité d'apprécier les effets de l'arrêt des pompages. Il a été constaté que cet arrêt avait occasionné une amplification des inondations et par conséquent des difficultés qui leurs sont associées ; dans les quartiers de Hamdalay 2 notamment où en plus des maisons, les deux écoles privées et la grande mosquée étaient inondées.

L'importance des inondations a diminué de manière significative avec la reprise des pompages.

5.3.2. Analyse des impacts des inondations

Les enquêtes réalisées dans la zone ont montré que les inondations entraînent d'importants dégâts matériels sur les habitations, les infrastructures publiques et/ou collectives et la voirie. A cela s'ajoutent de graves problèmes environnementaux qui affectent la santé des populations et leur bien être en général.

Sur 186 personnes interrogées, 179 (soit 97,3 %) affirment avoir subi des inondations entre une et trente fois depuis leur installation dans le quartier. Si la période des inondations se limite à celle de l'hivernage dans la plupart des cas, il demeure néanmoins que près de 7 % des maisons sont continuellement envahies par les eaux même en saison sèche.

Outre les conséquences sanitaires de la stagnation de l'eau dans ces quartiers, les populations sont obligées de déployer d'énormes efforts pour faire face à une situation très inconfortable.

Des responsables de structures de santé comme la quasi-totalité des personnes rencontrées (plus de 99 %) ont confirmé la corrélation positive entre l'inondation et l'incidence ou la prévalence de certaines maladies. Les enfants constituent le groupe le plus touché par ces maladies. Les maladies les plus fréquentes sont le paludisme, les maladies dermatiques et celles diarrhéiques. La bilharziose qui a déjà fait son apparition risque de se développer avec la prolifération des végétaux aquatiques.

Aux coûts de la prise en charge des malades s'ajoutent ceux liés aux réparations des dommages sur les habitations et/ou les équipements domestiques.

Dans ce contexte, et en considérant les résultats de simulations obtenus avec le modèle hydrogéologique, l'arrêt de l'exploitation des forages va provoquer les problèmes présentés ci-dessous.

Les **conditions de vie seront rendues plus difficiles** du fait des difficultés d'accès aux maisons et lieux publics, l'accumulation de déchets et autres débris qui rendent les endroits inondés très insalubres. L'accentuation de l'humidité des maisons constituera aussi une source de désagrément;

Les problèmes et risques sanitaires : le paludisme est devenu endémique dans les zones inondées contrairement aux zones non inondées où la maladie fait son apparition avec l'hivernage (mois de juin) pour sévir jusqu'au mois de décembre au plus tard.

D'autre part les prévalences de maladies de la peau (chez les enfants notamment) et de maladies diarrhéiques (dysenterie, choléra) sont très importantes dans ces zones inondées. Cet état de fait est compréhensible puisque les germes et / ou vecteurs associés à ces maladies se développent en général dans l'eau.

Par ailleurs, l'évacuation des fosses septiques dans les eaux stagnantes est une pratique qui accentue ces risques sanitaires.

Dans certains quartiers on peut constater la prolifération de végétaux aquatiques dont *typha australis* dans les endroits inondés ; ce qui laisse croire à des assertions selon lesquelles les inondations ont favorisé le développement de la bilharziose. Ces végétaux risquent de se développer davantage, ce qui augmente le risque de développement de la maladie.

Les nuisances et désagréments: la pullulation d'insectes (mouches, moustiques), l'insalubrité et les mauvaises odeurs ainsi que la difficulté de traverser des rues inondées pour accéder aux maisons sont des contraintes vécues par les habitants des quartiers inondés.

La stagnation des eaux provoque d'importantes nuisances auxquelles les populations doivent faire face au prix d'énormes efforts. A cela s'ajoute des pertes et dommages dont les coûts de réparation sont difficilement supportés par ces populations à revenu faible.

En effet, la pullulation d'insectes (mouches, moustiques), l'insalubrité et les mauvaises odeurs ainsi que la difficulté de traverser des rues inondées pour accéder aux maisons sont les principales contraintes vécues et exprimées par les personnes enquêtées.

Pour faire face à ces problèmes, les réactions habituelles consistent à évacuer l'eau des maisons vers la rue, remblayer en sable d'apport, déménager temporairement ou définitivement. Les trois dernières options sont associées à des coûts fortement décriés par les victimes ; surtout lorsqu'il s'agit de déménagements eu égard aux perturbations sociales qui s'ajoutent aux coûts financiers.

La détérioration des habitations, infrastructures et équipements

Dans les quartiers touchés par les inondations, celles-ci ont déjà provoqué des dommages sur les constructions (fissures des bâtiments, perforation des façades). Dans les endroits les plus affectés le mobilier domestique, les articles vestimentaires et la nourriture sont endommagés puisque l'eau pénètre jusque dans les chambres.

Chez 30 % des ménages visités, les inondations ont provoqué des dommages sur les constructions (fissures des bâtiments, perforation des façades) et sur le mobilier domestique ; tandis que chez 13 % le dommage concerne des articles vestimentaires et la nourriture surtout.

Coûts d'opportunité et coût social liés aux inondations

Les pertes et les réparations des dommages occasionnés par les inondations sont difficilement ressenties par les populations affectées qui sont de surcroît à revenu faible. Les tentatives d'évacuation des eaux par pompage, le remblai des maisons avec du sable d'apport, les déménagements temporaires et abandons de maisons ou la prise en charge médicale des personnes malades occasionnent des coûts.

Maladie (FCFA)	Coût moyen du traitement*
Paludisme	2.500 – 3.500
Maladies de la peau (gale, infections bactériennes)	2.000 – 3.000
Maladies diarrhéiques (dysenterie, choléra)	2.500 – 4.000

* : Ces estimations ne concernent pas les formes graves de ces maladies ; formes pouvant nécessiter jusqu'à trois fois ces coûts moyens

Les infrastructures publiques et/ou collectives ne sont pas épargnées. Comme indiqué dans le paragraphe 5.2, de nombreux lieux publics sont affectés par les inondations, ce qui rend leur usage très difficile pendant la période d'hivernage notamment. Certains d'entre eux sont très inondés et en permanence au point d'être abandonnés.

Les frais encourus pour réparer les dommages que causent les inondations sur les habitations (fissure de bâtiments, perforation de façades, dégradation de la peinture) peuvent varier, selon l'importance des dégâts, entre 5.000 et 25.000 francs CFA.

Les coûts associés à l'évacuation des eaux par pompage, au remblai des maisons avec du sable d'apport, aux déménagements temporaires ou définitifs sont encore plus élevés. On peut estimer à 20.000 le prix du pompage d'une cour de maison par un prestataire ; à 10.500 le prix du remblai d'une cour moyenne et à 100.000 F CFA au minimum le prix d'un déménagement et location de deux chambres pendant 3 mois.

Quant aux maisons abandonnées, la plupart de celles que nous avons observées ont une valeur qu'on peut estimer à plus de 500.000 FCFA.

Contrairement aux maladies et réparations dont les coûts de la prise en charge peuvent être estimés, les ceux associés aux nuisances et désagréments (au niveau des lieux de culte notamment) engendrés par les inondations sont difficilement quantifiables.

Enfin, la revue des actions entreprises pour faire face aux inondations et aux problèmes qu'elles occasionnent montre que celles-ci sont encore insuffisantes par rapport à l'ampleur des problèmes.

Ces actions peuvent être classées dans deux catégories : les opérations d'urgences qui sont menées chaque année et les actions durables déjà planifiées pour certains quartiers.

Opérations d'urgence

Le caractère ponctuel (pendant l'hivernage) de telles opérations ne garantit pas une solution durable, ce qui favorise la récurrence du problème qui survient chaque année pendant la saison des pluies. D'autre part, l'impact de ces interventions est très insuffisant du fait de lacunes liées aux moyens limités, au retard des opérations etc. D'autre part, tous les quartiers affectés ne bénéficient pas des opérations.

Actions durables

Le gouvernement du Sénégal a mis en place, en 2001, la Commission Nationale de Gestion Prévisionnelle des Inondations (CONAGPI) qui regroupe les représentants des ministères concernés, des collectivités locales ainsi que des personnes physiques ou morales compétentes en matière de prévention des inondations. La CONAGPI est présidée par le Ministre de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire se veut être un cadre de gestion durable du problème des inondations au Sénégal.

Avec l'appui de partenaires au développement, quelques programmes de restructuration et régularisation foncières sont déjà réalisés ou en cours. Parmi ceux – ci on peut citer les projets de restructuration et régularisation à Dalifort et celui en cours de Pikine Sud Irrégulier avec la Fondation Droit à la Ville sur financement de la KFW.

Malgré cette volonté de résoudre le problème, force est de constater que les inondations perdurent et s'accroissent d'année en année, du moins dans la zone du projet.

5.4. CONCLUSIONS DE L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIO-ECONOMIQUE

A partir des résultats des simulations faites avec le modèle hydrogéologique et des constats d'une situation réelle avec l'arrêt du forage F22, on peut dire que l'arrêt des pompes va accentuer les risques d'inondation dans l'espace étudié.

Causées pour l'essentiel par une remontée de la position de la nappe facilitée par la structure des sols, les inondations seront également favorisées par l'apport des pluies et l'absence d'assainissement dans les quartiers. Ainsi on peut s'attendre à ce que :

- les inondations s'accroissent dans des zones où elles sont déjà préoccupantes (à Diamaguène Sicap Mbao, Djidah Thiaroye Kaw, et Médina Gounass);
- des zones moins touchées par les inondations le soient d'avantage (à Yeumbeul Sud et Yeumbeul Nord);
- des zones épargnées jusque là commencent à être affectées (à Thiaroye Gare, Diamaguene Sicap Mbao, Guinaw Rail Nord, Djidah Thiaroye Kaw et Yeumbeul Nord).

Avec l'arrêt des pompages des forages, les populations vivant dans ces zones devront s'attendre à l'avènement ou à l'accentuation des difficultés et souffrances inhérentes à ces inondations ; des problèmes que nous avons décrits plus haut. De même, la détérioration des habitations et des infrastructures publiques ou collectives va s'amplifier avec ce que cela suppose comme désagréments. A ce niveau, il faut signaler que les mosquées sont particulièrement concernées et qu'à l'image du pays, la population de ces quartiers est essentiellement constituée de musulmans qui regrettent profondément l'atteinte de ces lieux de culte par les inondations.

Par contre, les simulations de pompages de 15 000 m³ par jour ont montré que de tels prélèvements vont provoquer un rabattement de la nappe et par conséquent feront disparaître tout risque d'inondation dans la quasi-totalité des quartiers actuellement inondés ou menacés de l'être avec l'arrêt des pompages.

Ainsi la seule solution qui soit durable pour faire face à ces problèmes d'inondation devra être fondée sur la continuation des pompages puisque la restructuration (dans le but de mettre en place un système d'assainissement) souvent évoquée comme étant la solution n'en est pas une si l'on se réfère à l'origine du problème.

Nous recommandons donc que l'étude socioéconomique portant sur le changement de destination d'usage des forages soit approfondie pour aboutir à un plan de reprise des forages par ces repreneurs potentiels déjà identifiés.

Nous recommandons donc que l'élaboration du plan d'investissement prévu dans le cadre de ce projet approfondisse l'analyse des possibilités de reprise des forages entamée dans l'étude socioéconomique en vue d'aboutir à un plan de reprise des forages par ces repreneurs potentiels déjà identifiés.

6. AVANT-PROJET SOMMAIRE

L'objet de ce chapitre est d'évaluer la faisabilité technique et économique de la poursuite du pompage dans le champ captant de Thiaroye pour des utilisations agricoles et industrielles. Cette évaluation a été réalisée au stade de l'avant-projet sommaire dans l'objectif de mettre à la disposition de la SONES des éléments chiffrés lui permettant de faire un choix pour l'avenir de ce champ captant. Si une des solutions envisagées était retenue, il conviendra d'affiner le dimensionnement technique et l'évaluation des coûts de production (stade APD), de définir le mode de gestion approprié (SDE, SONES directement, ou autre société privée) et, à partir de ces éléments, d'arrêter un prix de vente de l'eau pour obtenir un engagement formel des utilisateurs futurs.

6.1. Identification des consommateurs potentiels et définition des scénarii

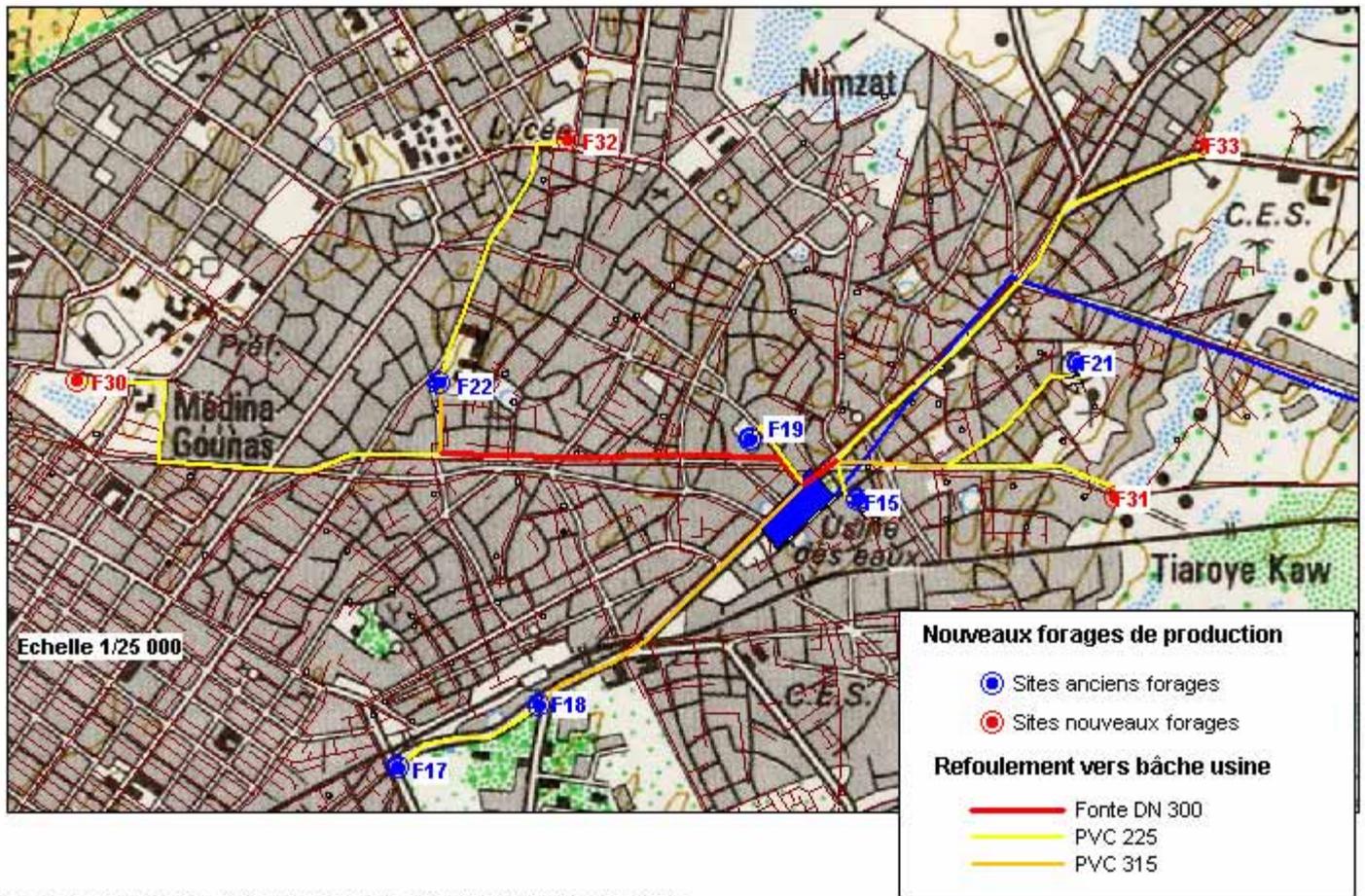
Dans l'hypothèse de la poursuite du pompage sur le champ captant de Thiaroye, différents consommateurs potentiels de l'eau produite ont été identifiés et enquêtés. Il s'agit de plusieurs industries installées sur la côte sud entre Thiaroye et Rufisque, et d'une multinationale maraîchère, qui a projeté de s'installer sur les secteurs de Niaga, Sangalkam et Bambilor.

La localisation géographique de ces consommateurs potentiels par rapport au champ captant actuel est présentée sur la figure 19 et les besoins en eau exprimés par zone sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

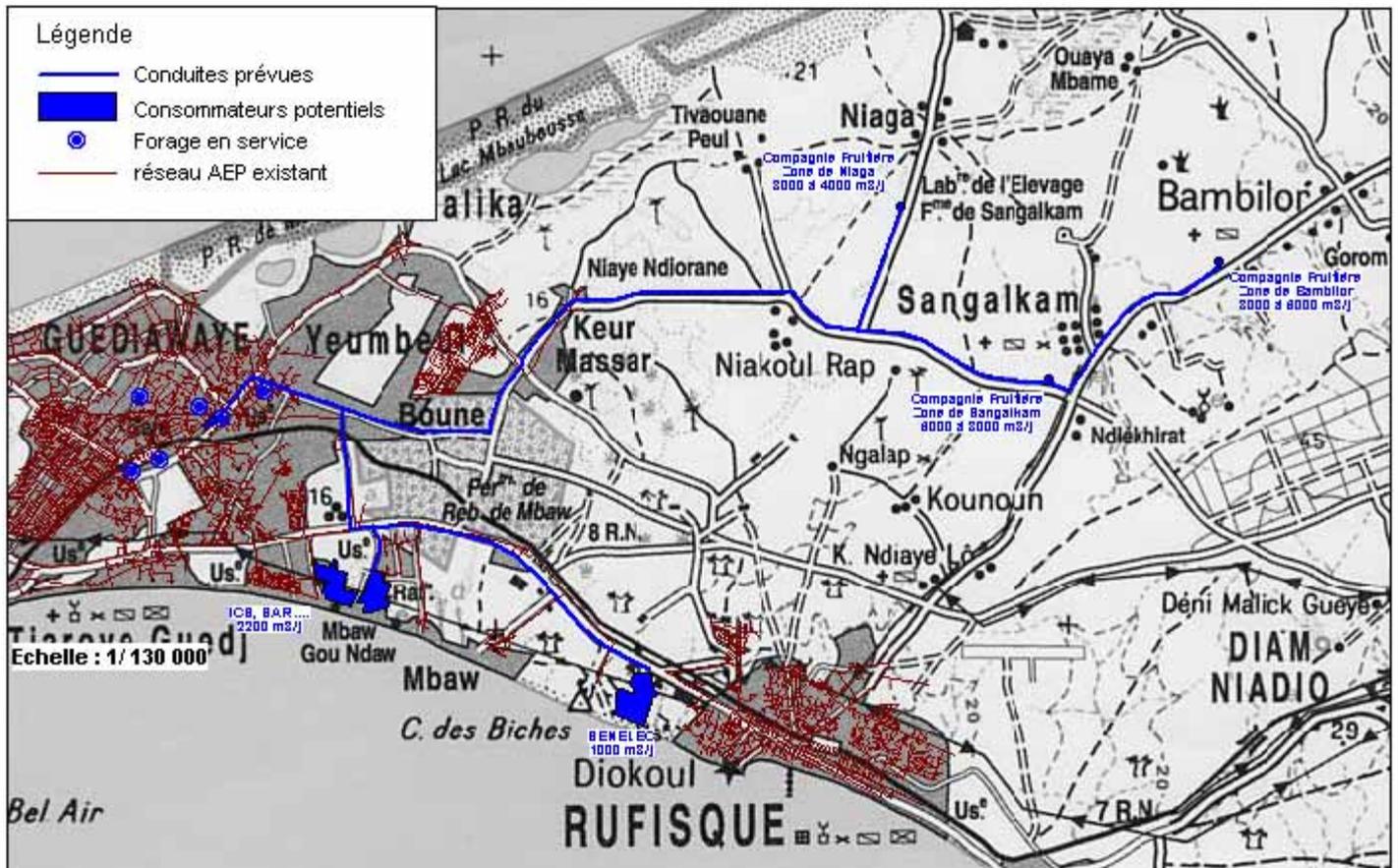
Zone de consommation	Besoins en eau en m³/j
Industriels du secteur de Mbaw (ICS, SAR,...)	2 200
Senelec du Cap des biches	1 000
Compagnie fruitière - zone de Niaga	3 000 à 4 000
Compagnie fruitière - zone de Sangalkam	6 000 à 8 000
Compagnie fruitière – zone de Bambilor	3 000 à 6 000

Figure 19 : Situation des forages et du réseau de distribution envisagés

NOUVEAU CHAMP CAPTANT DE THIAROYE



CONSUMMATEURS POTENTIELS DES EAUX DE THIAROYE



Les scénarios suivants ont été étudiés :

- Solution de base : Alimentation de la compagnie fruitière et des industriels
besoin moyen de 18 200 m³/j
- Solution variante n°1 : Alimentation de la compagnie fruitière uniquement
besoin moyen journalier de 15 000 m³/j
- Solution variante n°2 : Alimentation des industriels de la côte uniquement
besoin moyen journalier de 3 200 m³/j

La solution maraîchère (Compagnie Fruitière) apparaît aujourd'hui la plus intéressante à mettre en œuvre car les besoins sont conséquents (impact significatif sur la nappe) et les installations d'irrigation de la compagnie n'étant pas préexistantes, il est toujours possible d'optimiser leur conception en fonction du mode d'approvisionnement en eau.

A contrario, les besoins des industriels sont faibles. Ces derniers sont déjà connectés au réseau AEP et auront donc l'obligation d'investir dans des réseaux doubles (Eau potable/Eau brute) . En outre, dans certains cas, il leur sera nécessaire de modifier leur process de traitement de l'eau, la qualité de l'eau brute du champ de Thiaroye étant très différente de celle de l'eau qui leur était distribuée auparavant par la SDE.

6.2. Description des solutions techniques et premier dimensionnement des installations.

Les Fiches récapitulatives des solutions techniques proposées sont présentées en annexe 1. Les principales hypothèses et choix techniques adoptés sont synthétisés ci-après.

6.2.1. Champ captant

Les forages du champ captant actuel de Thiaroye sont pour la plupart en service depuis plusieurs décennies et ne permettent pas de fournir les débits demandés par la solution maraîchère. Aussi, est-il indispensable pour les deux premières solutions (solution de base et variante n°1) de prévoir la réalisation de nouveaux forages (quatre pour la solution de base : F30, F31, F32 et F33, deux seulement pour la solution variante n°1 : F30 et F32). En outre, il est nécessaire dans ces deux cas de refaire complètement les anciens forages du champ sur les mêmes sites : F15, F17, F18, F19, F21 et F22.

On rappelle que les critères d'implantation des nouveaux forages (cf. figure 19) ont été les suivants :

- Zone d'affleurement de la nappe pour maximiser l'impact positif du pompage sur les inondations.
- Zone avec une puissance de l'aquifère supérieure à 35 m et une transmissivité supérieure à $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Zone suffisamment éloignée de la côte nord pour éviter les invasions salines.

La profondeur des forages sera de 45 mètres en moyenne. Crépinés de 25 à 40 m et équipés en 12 pouces (chambre de pompage), ils devraient pouvoir être exploités à $100 \text{ m}^3/\text{h}$ avec un rabattement de l'ordre de 10 m.

Les groupes motopompes immergés ont été choisis à partir des catalogues GRUNDFOS (SP 95-3, 13 kW)

6.2.2. Refoulement sur la bache de Thiaroye

Le système retenu prévoit de refouler l'eau pompée vers une nouvelle bache située à l'usine de Thiaroye. En effet, les installations actuelles de l'usine continueront à être utilisées par la SDE et ne sont donc pas disponibles.

Le volume de cette bache est estimé à 50 % de la production journalière moyenne soit, pour les différentes solutions respectivement $9\,000 \text{ m}^3$, $7\,500 \text{ m}^3$ et $1\,500 \text{ m}^3$. L'emplacement de cette bache devra être précisé ultérieurement car son emprise au sol est importante dans les cas d'alimentation de la compagnie fruitière.

Dans les deux premières solutions, compte tenu des nouveaux débits pompés, il a été envisagé de renouveler totalement le réseau de refoulement des forages vers l'usine (cf. annexe 1 et figure 19 pour les types et les métrés des conduites prévues).

6.2.3. Distribution aux utilisateurs

Les pompes de distribution à partir de la bache de Thiaroye ont été prédimensionnées dans la gamme NK de Grundfos

Pour les deux premières solutions qui intéressent la compagnie fruitière, il sera nécessaire de prévoir deux pompes NK 150-400 (diamètre de roue 380) avec des moteurs de 75 kW fournissant chacune $450 \text{ m}^3/\text{h}$ avec 40 m de HMT. Dans le cas d'une alimentation unique des industriels, une seule pompe NK 100-315 (diamètre de roue 305) avec un moteur de 22 kW est suffisante.

Le réseau de distribution a été dimensionné pour fournir une pression minimum de 1 bar à l'utilisateur le plus défavorisé. Pour des raisons foncières, les conduites ont été implantées le long des rues et routes principales. Les cotes topographiques utilisées pour le calcul sont issues du MNT de Dakar.

Les détails techniques des réseaux de distribution envisagés sont présentés en annexe 1. Le tracé du réseau est schématisé sur la figure 19.

Dans le cas de l'alimentation de la compagnie fruitière, il est prévu sur chacune des trois zones : Niaga, Sangalkam et Bambilor la construction de réservoirs d'une capacité correspondant à 50 % des besoins journaliers moyens sur la zone soit des capacités respectives de 1 750 m³, 3 500 m³ et 2 250 m³.

6.3. Estimation des Coût d'investissement des différentes solutions retenues.

Le détail des coûts d'investissement des trois solutions envisagées est présenté en annexe 2.

Les principaux modes d'évaluation de ces coûts sont les suivants :

Pour l'électromécanique : utilisation de prix FOB HT France affectés d'un coefficient de 2.

Pour les conduites : utilisation de prix unitaires constatés sur des marchés récents au Sénégal

Pour les pièces spéciales réseaux : utilisation d'un pourcentage du coût des conduites estimé à 10 %, compte tenu des linéaires importants et de la simplicité du réseau

Pour les forages et les réservoirs : utilisation d'évaluations empiriques à savoir 200 000 FCFA/m³ pour les bâches (réservoirs au sol) et 250 000 FCFA/ml pour les forages.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Scénario	Coût d'investissement en FCFA HT	Coût d'investissement en FCFA par m ³ distribué sur 10 ans
Alimentation des industriels et de la Compagnie fruitière	5 562 182 500	84
Alimentation de la Compagnie fruitière uniquement	4 976 560 000	91
Alimentation des industriels uniquement	665 762 500	57

6.4. Estimation du Coût au m³

Les calculs de coût de production au m³ sont présentés en annexe 2.

Les charges d'amortissement annuelles ont été évaluées à partir des durées de vie communément admises : Génie civil 50 ans, conduites 10 ans, électromécanique 10 ans, cependant la durée de vie prévisionnelle des pompes a été réduite à 5 ans compte tenu des nombreuses heures de pompage journalières prévues.

Le coût énergétique qui correspond à la consommation électrique des pompes a été évalué à partir des données de rendement des moteurs fournies par le constructeur. Nous avons adopté un prix moyen du kWh de 120 FCFA.

Dans les coûts de fonctionnement, nous avons considéré le coût du personnel (1 responsable système et 1 agent), le fonctionnement d'un bureau et les déplacements sur le système estimé sur la base de 350 FCFA/km.

Enfin les charges d'entretien ont été évaluées en pourcentage du coût d'investissement avec les règles suivantes : 2 % pour le génie civil et le réseau, 5% pour l'électromécanique.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Scénario	Coût Amortissement au m³ produit	Coût énergétique au m³ produit	Coût de fonctionnement et entretien au m³ produit	Coût total au m³ produit	Coût total au m³ distribué
Alimentation des industriels et de la Compagnie fruitière	24	40	21	85	95
Alimentation de la Compagnie fruitière Uniquement	26	40	23	89	100
Alimentation des industriels uniquement	22	26	26	74	82

Quelle que soit la solution adoptée, le prix de revient du m³ distribué avec un rendement pessimiste de 90 % reste inférieur à 100 FCFA. Ce prix est donc bien en dessous des tarifs actuels de la SDE et permettra de proposer aux utilisateurs un prix de vente attractif tout en permettant à la société gestionnaire du système de dégager une marge intéressante.

7. Conclusions de l'étude

L'utilisation d'un modèle hydrodynamique pour analyser la problématique des inondations dans la zones Thiaroye-Pikine a permis d'avancer dans la compréhension du fonctionnement de la nappe des sables de Thiaroye.

Tout d'abord, le modèle a en partie élucidé l'origine des inondations en montrant le rôle important joué par les rejets d'eau domestique apportée depuis la région du fleuve Sénégal. Cet apport d'eau exogène a considérablement modifié l'équilibre du système hydrogéologique de la nappe des sables. La progrès humain et social que constitue l'accès à l'eau pour tous risque cependant d'aggraver un peu plus le phénomène dans les années à venir. Les perspectives d'évolution des raccordements, principal facteur de progression de la consommation en eau, devraient provoquer une remontée pouvant atteindre 0.75 m dans certaines zones de la presqu'île. Dans ce contexte de hausse inexorable du niveau de la nappe, l'arrêt des pompages paraît inenvisageable sans risque de dégradation du niveau de vie de plusieurs centaines de milliers de personnes. Face à ce constat, continuer à exploiter le champ captant paraît être la solution techniquement et économiquement la plus intéressante à court et moyen terme. L'autre alternative réside dans le développement de l'assainissement afin de limiter la quantité de rejets domestiques s'infiltrant dans la nappe. Les simulations ont montré que si 100% de l'eau distribuée était collectée, aucun quartier de la zone ne serait touché par les inondations d'origine phréatique. Ce constat suffit pour avancer que l'assainissement constitue la solution à long terme au problème des inondations. Toutefois son extension à l'ensemble de ces zones d'habitat majoritairement spontané est un investissement colossal et de longue haleine qui ne portera ses fruits que dans plusieurs décennies. De fait, envisager la continuité des prélèvements dans la nappe des sables semble être, à court terme, une solution incontournable. Toutefois, la qualité de l'eau de la nappe de Thiaroye atteignant des teneurs en nitrates importantes, la question de l'utilisation de cette eau se pose. Les entretiens menés au cours de la phase A ont montré que des solutions existent. Si la perspectives de fournir seulement aux industriels n'est pas envisageable au regard de leur besoin, celle du développement d'un complexe de maraîchage intensif dans la zone de Sangalkam-Niaga-Bambilor (type projet présenté par Compagnie Fruitière) paraît intéressante.

Parmi les avantages d'une telle solution, on retient que :

- l'eau de Thiaroye est valorisée
- le projet de réaménagement du champ captant et de réaliser d'une conduite d'amenée est économiquement viable. Les coûts au m³ envisagés sont inférieurs au prix actuel facturé aux maraîchers, une fois déduite la subvention SONES
- la gestion de l'eau sur la presqu'île de Dakar est optimisée. Les 2 millions de m³ d'eau de bonne qualité provenant de la zone du fleuve qui aujourd'hui sont destinés à l'irrigation peuvent être dédiés aux populations
- . une partie des infrastructures sont existantes

- l'effet sur le rabattement des niveaux est rapide,

Toutefois, sur le plan des inondations, cette solution ne résout pas complètement le problème étant donné que les zones littorales ne peuvent en profiter. Pour ces zones, il faudra envisager des solutions de type assainissement ou drainage.

8. Recommandations

Dans l'objectif d'affiner le modèle de gestion de la nappe de Thiaroye développé dans le cadre de ce projet, ANTEA tient à mettre l'accent sur l'importance du suivi de la nappe. La SONES dispose d'un réseau de 21 piézomètres réalisés en cours de projet pour faire face au manque de données. Il est impératif que des relevés, au moins, mensuels soient effectués sur chacun de ces points.

ANNEXE 1

Fiches récapitulatives des solutions techniques

Solution de base

Alimentation de la compagnie Fruitière et des industriels

Champ captant

Nombre minimum de Forages à 100 m³/h 10

Sites ancien forages	F15	F17	F18	F19	F21	F22
Nouveaux forages	F30	F31	F32	F33		

Débit journalier maximum 24 000 m³/j

Caractéristiques forages profondeur 45 m, diamètre chambre de pompage 12", longueur chambre de pompage 25 m, crépiné de 25 à 40 m

Hypothèses productivité NS=5m; Q/s= 10 m³/h/m

Pompes immergées Type SP95-3 (Grundfos) avec moteur MS6000 de 13 kW (r = 82 %)

Refoulement vers bache de thiaroye

	Nb forage transités	vitesse en m/s	pd en m/km	Longueur en m
PVC 225	1	0.82	0.82	6 250
PVC 315	2	0.84	0.84	1 790
Fonte DN 300	3 et 4	1 et 1.33	1 et 1.33	1 410

Réseau de distribution

Altitude bache de thiaroye	11
Pression sortie pompe en mCE	37

Description tronçon	N° Tronçon	Longueur en m	Débit tronçon en m ³ /j	Débit tronçon en m ³ /h pour 20 h de pompage	Type conduite	vitesse en m/s	pd lin	pd sing	altitude nœud fin de tronçon	charge fin de tronçon en mCE
Usine à séparation industrie-cpgnie fruitière	1	2 650	18 200	910	Fonte DN 600	0.80	1.81	0.18	10.00	36.01
séparation à carrefour Niakoul Rap	2	10 650	15 000	750	Fonte DN 600	0.66	5.09	0.51	15.00	25.41
Niakoul Rap- Zone Niaga	3	2 250	3 500	175	Fonte DN 300	0.58	1.90	0.19	15.00	23.32
Niakoul Rap- Zone Sangalkam	4	3 950	11 500	575	Fonte DN 500	0.72	2.74	0.27	20.00	17.40
Zone Sangalkam - Zone Bambilor	5	4 500	4 500	225	Fonte DN 300	0.75	6.06	0.61	20.00	10.73
séparation- RN	6	2 500	3 200	160	Fonte DN 300	0.53	1.79	0.18	5.00	39.04
RN-ICS	7	825	2 200	110	PVC225-16 bars	0.99	3.40	0.34	5.00	35.30
RN-SENELEC	8	5 700	1 000	50	PVC160-16bars	0.81	3.36	0.34	10.00	26.60

Calcul de pdc par Colebrook avec eau à 30°C et rugosité à 0.03 - pdc sing = 10% pdc lin

Bâches

Bâche de Thiaroye	9 000	m ³
Bâche de Niaga	1 750	m ³
Bâche de Sangalkam	3 500	m ³
Bâche de Bambilor	2 250	m ³

Pompage à partir de thiaroye

2 Pompes type NK 150-400 diam.380 et moteur de 75 kW (r = 94 %) donnant 450 m³/h à 40 m de HMT

Solution variante

Alimentation de la compagnie Fruitière uniquement

Champ captant

Nombre minimum de Forages à 100 m³/h

8

Sites ancien forages

F15	F17	F18	F19	F21	F22
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Nouveaux forages

F30	F32
-----	-----

Débit journalier maximum 19 200 m³/j

Caractéristiques forages profondeur 45 m, diamètre chambre de pompage 12", longueur chambre de pompage 25 m, crépiné de 25 à 40 m

Hypothèses productivité NS=5m; Q/s= 10 m³/h/m

Pompes immergées Type SP95-3 (Grundfos) avec moteur MS6000 de 13 kW (r = 82 %)

Refoulement vers bache de thiaroye

	Nb forage transités	vitesse en m/s	pd en m/km	Longueur en m
PVC 225	1	0.82	0.82	4 500
PVC 315	2	0.84	0.84	1 550
Fonte DN 300	3 et 4	1 et 1.33	1 et 1.33	1 280

Réseau de distribution

Altitude bache de thiaroye	11
Pression sortie pompe en mCE	36

Description tronçon	N° Tronçon	Longueur en m	Débit tronçon en m ³ /j	Débit tronçon en m ³ /h pour 20 h de pompage	Type conduite	vitesse en m/s	pd lin	pd sing	altitude nœud fin de tronçon	charge fin de tronçon en mCE
Usine à séparation industrie-cpgnie fruitière	1	2 650	15 000	750	Fonte DN 600	0.66	1.27	0.13	10.00	35.60
séparation à carrefour Niakoul Rap	2	10 650	15 000	750	Fonte DN 600	0.66	5.09	0.51	15.00	25.00
Niakoul Rap- Zone Niaga	3	2 250	3 500	175	Fonte DN 300	0.58	1.90	0.19	15.00	22.91
Niakoul Rap- Zone Sangalkam	4	3 950	11 500	575	Fonte DN 500	0.72	2.74	0.27	20.00	16.99
Zone Sangalkam - Zone Bambilor	5	4 500	4 500	225	Fonte DN 300	0.75	6.06	0.61	20.00	10.32

Calcul de pdc par Colebrook avec eau à 30°C et rugosité à 0.03 - pdc sing = 10% pdc lin

Bâches

Bâche de Thiaroye	7 500	m ³
Bâche de Niaga	1 750	m ³
Bâche de Sangalkam	3 500	m ³
Bâche de Bambilor	2 250	m ³

Pompage à partir de thiaroye

2 Pompes type NK 150-400 diam.380 et moteur de 75 kW (r = 94 %) donnant 450 m³/h à 40 m de HMT

Solution variante N° 2

Alimentation des industriels uniquement

Champ captant et refoulement

Possibilité d'utiliser le champ captant actuel et refoulement avec simple réfection

Réseau de distribution

Altitude bache de thiaroye	11
Pression sortie pompe en mCE	26

Description tronçon	N° Tronçon	Longueur en m	Débit tronçon en m ³ /j	Débit tronçon en m ³ /h pour 20 h de pompage	Type conduite	vitesse en m/s	pd lin	pdc sing	altitude nœud fin de tronçon	charge fin de tronçon en mCE
Usine à séparation industrie-cpgnie fruitière	1	2 650	3 200	160	Fonte DN 200	0.73	4.17	0.42	10.00	22.41
séparation- RN	6	2 500	3 200	160	Fonte DN 200	0.73	3.94	0.39	5.00	23.08
RN-ICS	7	825	2 200	110	PVC225-16 bars	0.99	3.40	0.34	5.00	19.34
RN-SENELEC	8	5 700	1 000	50	PVC160-16bars	0.81	3.36	0.34	10.00	10.64

Calcul de pdc par Colebrook avec eau à 30°C et rugosité à 0.03 - pdc sing = 10% pdc lin

Bâches

Bâche de Thiaroye	1 500	m ³
-------------------	-------	----------------

Pompage à partir de thiaroye

1 Pompe type NK 100-315 diam.roue 305 et moteur de 22 kW (r = 91 %) donnant 200 m³/h à 25 m de HMT

ANNEXE 2

Calculs de coût de production au m³

Solution de base

Alimentation de la compagnie Fruitière et des industriels

Coût d'investissement

Champ captant

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Nouveaux Forages de 45 m équipés en 12"	10	U	11 250 000	112 500 000	30	3 750 000
Aménagement tête de forage	10	U	1 500 000	15 000 000	10	1 500 000
Cabine de pompage	10	U	3 000 000	30 000 000	50	600 000
Pompes immergées	10	U	2 700 000	27 000 000	5	5 400 000
Armoire de commande	10	U	1 100 000	11 000 000	10	1 100 000
Exhaure	250	ml	35 000	8 750 000	10	875 000

refoulement

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Thiaroye	1	U	1 800 000 000	1 800 000 000	50	36 000 000
PVC 225 -16 bars y compris pose	6250	ml	15 000	93 750 000	30	3 125 000
PVC 315 - 16 bars y compris pose	1790	ml	25 000	44 750 000	30	1 491 667
Fonte DN 300 y compris pose	1410	ml	45 000	63 450 000	30	2 115 000
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	20 195 000	20 195 000	10	2 019 500

distribution

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Niaga	1	U	350 000 000	350 000 000	50	7 000 000
Bâche Sangalkam	1	U	700 000 000	700 000 000	50	14 000 000
Bâche Bambilor	1	U	450 000 000	450 000 000	50	9 000 000
Pompes de reprises	2	U	5 600 000	11 200 000	5	2 240 000
Armoire commande	2	U	2 800 000	5 600 000	10	560 000
Fonte DN 600 y compris pose	13300	ml	70 000	931 000 000	30	31 033 333
Fonte DN 500 y compris pose	3950	ml	60 000	237 000 000	30	7 900 000
Fonte DN 300 y compris pose	9250	ml	45 000	416 250 000	30	13 875 000
PVC 225 -16 bars y compris pose	825	ml	15 000	12 375 000	30	412 500
PVC 160 -16 bars y compris pose	5700	ml	10 000	57 000 000	30	1 900 000
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	165 362 500	165 362 500	10	16 536 250

Total Investissement

5 562 182 500

Total charges annuelles amortissement

162 433 250

Distribution annuelle

6 643 000 m³

Amortissement /m³

24 FCFA/m³

Coût de fonctionnement et entretien

1 Energie

Consommation Energetique sur pompes de forage

0.16 kWh/m³

Consommation Energetique sur pompes Thiaroye

0.18 kWh/m³

Consommation

0.34 kWh/m³

Prix kWh 120 FCFA

soit Coût énergétique/m³ **40** FCFA/m³

Consommation annuelle **2 230 995 kWh**

2 Entretien-fonctionnement

personnel

Responsable système 5 000 000 FCFA/an

Manceuvre 1 500 000 FCFA/an

Divers bureau fournitures 3 000 000 FCFA/an

déplacement

12 775 000 FCFA/an (350 FCFA/km - 100 km/jour)

entretien GC

66 600 000 FCFA/an (2% Inv par an)

entretien électromécanique et pièces spéciales

12 767 875 FCFA/an (5% Inv par an)

entretien réseau

37 111 500 FCFA/an (2% Inv par an)

Coût entretien- fonct hors energie /m³ **21** FCFA/m³

Récapitulatif solution de base

Total Investissement	5 562 182 500	FCFA
Coût total au m3 produit	86	FCFA
Coût total au m3 facturé (rendement de 90 %)	95	FCFA

Solution variante

Alimentation de la compagnie Fruitière uniquement

Coût d'investissement

Champ captant

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Nouveaux Forages de 45 m équipés en 12"	8	U	11 250 000	90 000 000	30	3 000 000
Aménagement tête de forage	8	U	1 500 000	12 000 000	10	1 200 000
Cabine de pompage	8	U	3 000 000	24 000 000	50	480 000
Pompes immergées	8	U	2 700 000	21 600 000	5	4 320 000
Armoire de commande	8	U	1 100 000	8 800 000	10	880 000
Exhaure	200	ml	35 000	7 000 000	10	700 000

refoulement

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Thiaroye	1	U	1 500 000 000	1 500 000 000	50	30 000 000
PVC 225 -16 bars y compris pose	4500	ml	15 000	67 500 000	30	2 250 000
PVC 315 - 16 bars y compris pose	1550	ml	25 000	38 750 000	30	1 291 667
Fonte DN 300 y compris pose	1280	ml	45 000	57 600 000	30	1 920 000
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	16 385 000	16 385 000	10	1 638 500

distribution

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Niaga	1	U	350 000 000	350 000 000	50	7 000 000
Bâche Sangalkam	1	U	700 000 000	700 000 000	50	14 000 000
Bâche Bambilor	1	U	450 000 000	450 000 000	50	9 000 000
Pompes de reprises	2	U	5 600 000	11 200 000	5	2 240 000
Armoire commande	1	U	2 800 000	2 800 000	10	280 000
Fonte DN 600 y compris pose	13300	ml	70 000	931 000 000	30	31 033 333
Fonte DN 500 y compris pose	3950	ml	60 000	237 000 000	30	7 900 000
Fonte DN 300 y compris pose	6750	ml	45 000	303 750 000	30	10 125 000
PVC 225 -16 bars y compris pose	0	ml	15 000	0	30	0
PVC 160 -16 bars y compris pose	0	ml	10 000	0	30	0
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	147 175 000	147 175 000	10	14 717 500

Total Investissement

4 976 560 000

Total charges annuelles amortissement

143 976 000

Distribution annuelle

5 475 000 m³

Amortissement /m³

26 FCFA/m³

Coût de fonctionnement et entretien

1 Energie

Consommation Energetique sur pompes de forage

0.16 kWh/m³

Consommation Energetique sur pompes Thiaroye

0.18 kWh/m³

Consommation

0.34 kWh/m³

Prix kWh **120** FCFA

soit Coût énergétique/m³ **40** FCFA/m³

Consommation annuelle **1 838 732 kWh**

2 Entretien-fonctionnement

personnel

Responsable système 5 000 000 FCFA/an

Manceuvre 1 500 000 FCFA/an

Divers bureau fournitures 3 000 000 FCFA/an

déplacement

12 775 000 FCFA/an (350 FCFA/km - 100 km/jour)

entretien GC

60 480 000 FCFA/an (2% Inv par an)

entretien électromécanique et pièces spéciales 10 998 000 FCFA/an (5% Inv par an)

entretien réseau 32 712 000 FCFA/an (2% Inv par an)

Coût entretien- fonct hors energie /m³ **23** FCFA/m³

Récapitulatif solution N° 1

Total Investissement	4 976 560 000	FCFA
Coût total au m3 produit	90	FCFA
Coût total au m3 facturé (rendement de 90 %)	100	FCFA

Solution variante n° 2

Alimentation des industriels uniquement

Coût d'investissement

Champ captant

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Réfection forages existants	6	U	3 000 000	18 000 000	10	1 800 000
Aménagement tête de forage	6	U	1 500 000	9 000 000	10	900 000
Réfection cabines de pompage	6	U	1 000 000	6 000 000	50	120 000
Pompes immergées	6	U	2 000 000	12 000 000	5	2 400 000
Armoire de commande	6	U	1 000 000	6 000 000	10	600 000
Exhaure	150	ml	35 000	5 250 000	10	525 000

refoulement

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Thiaroye	1	U	300 000 000	300 000 000	50	6 000 000
PVC 225 -16 bars y compris pose	0	ml	15 000	0	30	0
PVC 315 - 16 bars y compris pose	0	ml	25 000	0	30	0
Fonte DN 300 y compris pose	0	ml	45 000	0	30	0
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	0	0	10	0

distribution

Désignation	Quantité	Unité	PU	PT en FCFA HT	durée de vie en années	Charge annuelle renouvellement
Bâche Niaga	0	U	350 000 000	0	50	0
Bâche Sangalkam	0	U	700 000 000	0	50	0
Bâche Bambilor	0	U	450 000 000	0	50	0
Pompes de reprises	1	U	4 500 000	4 500 000	5	900 000
Armoire commande	1	U	2 100 000	2 100 000	10	210 000
Fonte DN 600 y compris pose	0	ml	70 000	0	30	0
Fonte DN 500 y compris pose	0	ml	60 000	0	30	0
Fonte DN 200 y compris pose	5150	ml	40 000	206 000 000	30	6 866 667
PVC 225 -16 bars y compris pose	825	ml	15 000	12 375 000	30	412 500
PVC 160 -16 bars y compris pose	5700	ml	10 000	57 000 000	30	1 900 000
Pièces spéciales sur réseau	Forfait 10% conduites	F	27 537 500	27 537 500	10	2 753 750

Total Investissement

665 762 500

Total charges annuelles amortissement

25 387 917

Distribution annuelle **1 168 000 m³**

Amortissement /m³ **22** FCFA/m³

Coût de fonctionnement et entretien

1 Energie

Consommation Energetique sur pompes de forage 0.10 kWh/m³
 Consommation Energetique sur pompes Thiaroye 0.12 kWh/m³

Consommation 0.22 kWh/m³

Prix kWh 120 FCFA

soit Coût énergétique/m³ **26** FCFA/m³

Consommation annuelle **255 138 kWh**

2 Entretien-fonctionnement

personnel

Responsable système 5 000 000 FCFA/an
 Manœuvre 1 500 000 FCFA/an
 Divers bureau fournitures 3 000 000 FCFA/an

déplacement

(350 FCFA/km - 50 km/jour)

entretien GC

(2% Inv par an)

entretien électromécanique et pièces spéciales 3 056 875 FCFA/an

(5% Inv par an)

entretien réseau

(2% Inv par an)

Coût entretien- fonct hors energie /m³ **26** FCFA/m³

Récapitulatif solution variante n° 2

Total Investissement	665 762 500	FCFA
Coût total au m3 produit	74	FCFA
Coût total au m3 facturé (rendement de 90 %)	82	FCFA