



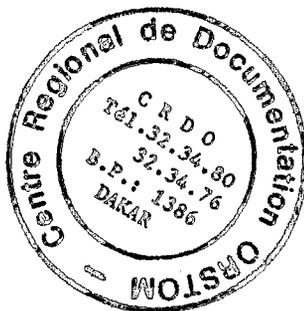
POLLUTIONS DES EAUX SOUTERRAINES  
PAR LES NITRATES DANS LES BANLIEUES  
NON ASSAINIES DES PAYS EN DEVELOPPEMENT

LE CAS DE PIKINE (SENEGAL)

REVUE

Texte de la communication proposée  
pour le Symposium international  
sur des solutions intégrées  
pour des problèmes de pollution de l'eau  
(SISSIPA) - LISBONNE 19-23 juin 1989

par J.J. COLLIN  
et G. SALEM (ORSTOM)



Note technique SGN/3E n° 89/27

REVUE

19/6/89  
6756 ffø SAL

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES  
Service Géologique National  
Département EAU-ENVIRONNEMENT-ENERGIE  
6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2, France - Tél. : (33) 38 64 34 34

Fonds Documentaire ORSTOM  
Cote: **B74590** Ex: **1**

Fonds Documentaire ORSTOM



010014590

POLLUTIONS DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES NITRATES  
DANS LES BANLIEUES NON ASSAINIES DES PAYS EN DEVELOPPEMENT

LE CAS DE PIKINE (SENEGAL)

NITRATE GROUNDWATER POLLUTION IN DEVELOPING COUNTRIES  
SUBURBS WITHOUT SANITATION

THE CASE OF PIKINE (SENEGAL)

par J.J. COLLIN <sup>(1)</sup> et G. SALEM <sup>(2)</sup>

RESUME

Dans les banlieues des grandes cités des pays en développement, où l'urbanisation est spontanée, l'habitat autoconstruit et la croissance rapide, les résidents face à l'insuffisance des réseaux, se reportent vers des modes autonomes d'alimentation en eau et d'élimination des déchets. Ces pratiques, particulièrement inadaptées aux fortes densités de population, conduisent, notamment sous climat aride et en terrain vulnérable à une intense pollution par nitrates des eaux souterraines. Cette situation a été étudiée à PIKINE, ville satellite de Dakar, (700.000 habitants). Des teneurs en  $\text{NO}_3$  de plusieurs centaines de mg/l ont été observées sur de nombreux puits.

Grâce à une étude démographique fine, appuyée sur des méthodes cartographiques, le dénombrement de la population a permis le calcul du flux de  $\text{NO}_3$ . Ce flux associé au bilan de l'eau de la zone permet d'établir sommairement la loi qui gouverne les teneurs de l'élément polluant.

Mots-clés : Pays en développement, Sénégal, urbanisation des eaux, pollution, nitrate, géographie de la santé.

ABSTRACT

Inhabitants of the huge suburbs of fast growing cities, in developing countries, faced with the lack of facilities networks turn towards self water-supply and sanitation practices. Due to high population density and arid climate, these practices induce a severe

<sup>(1)</sup> Hydrogéologue, professeur, Docteur es Sciences, Département Géologie, Faculté des Sciences, Université C.A. DIOP de Dakar, Sénégal ; adresse actuelle : BRGM-Orléans, France.

<sup>(2)</sup> Géographe, Docteur en géographie, Programme urbanisation et santé à Pikine, ORSTOM, Dakar, Sénégal ; adresse actuelle : ORSTOM, AGROPOLIS, Montpellier, France.

groundwater pollution by nitrate. In Pikine, 700.000 hab., suburb of Dakar, concentrations of hundreds mg/l have been observed. A demographic study, based on a cartographic data base, is used to compute the amount of  $\text{NO}_3$ . This flow, associated with the water budget permits to establish the rule governing the contaminant concentration.

Key-words : Developing countries, Sénégal, urbanization, water pollution, nitrate, health geography.

## 1 - INTRODUCTION

Les pays du tiers monde connaissent une croissance urbaine exceptionnellement rapide et brutale. On qualifie souvent ce phénomène de "pseudo-urbanisation" pour souligner le fait que l'augmentation de la population urbaine est sans commune mesure avec la croissance économique, la création de logements ou d'équipements publics.

Incapables d'endiguer cette croissance et dépourvus des moyens techniques et financiers nécessaires à son "accompagnement", les pouvoirs publics assistent impuissants au développement de quartiers irréguliers périphériques et à la "taudification" de quartiers anciens. Ces nouveaux quartiers sont mal ou pas assainis alors même qu'une part non négligeable de la population est obligée de s'alimenter en eau à des puits. En l'absence de solution immédiate, le problème de la qualité de l'eau des nappes représente un problème de santé publique majeur.

Le Sénégal, n'a pas échappé à ce phénomène : en 1988, quatre sénégalais sur dix vivent en ville et un sur quatre vit dans l'agglomération Dakar-Pikine-Rufisque. Le cas de Pikine est exemplaire. Créée ex nihilo en 1952 par les autorités coloniales, Pikine compte aujourd'hui près de 700.000 habitants sur 25 km<sup>2</sup>, dont la moitié vit dans des quartiers irréguliers au regard des lois urbaines. Cette partie de la ville est à la fois en autoconstruction et mal desservie en eau courante ce qui signifie qu'aucun contrôle d'hygiène publique ne garantit les qualités septiques des fosses d'aisance construites et que les populations sont souvent amenées à boire des eaux tirées de la nappe. Dans le cadre d'une recherche sur les relations entre urbanisation et santé à Pikine, une enquête menée en juillet 1986 sur un échantillon représentatif de 1096 parcelles de Pikine (G. SALEM, 1988, 1989), a permis de montrer que si 85% des parcelles disposaient de WC (14% ne disposant que d'urinoirs et 1% d'aucun lieu d'aisance) 14% seulement des propriétaires de ces équipements déclaraient avoir fait une opération de vidange. D'autres données recueillies dans le cadre de cette recherche ont permis la construction d'un système informatisé d'informations géographiques orientées vers les problèmes sanitaires. Une attention particulière a ainsi été portée aux problèmes d'alimentation/consommation/évacuation d'eau et aux répartitions spatiales des densités de populations.

Dans les années 50, pour couvrir les besoins en eau de Dakar, le centre de captage de Thiaroye avait été réalisé dans la zone : ce pompage, dont le périmètre d'appel des eaux a été dénommé "Bassin versant souterrain" (A. MARTIN, 1970) est désormais totalement sous la zone urbanisée (fig. 1) ; il est donc possible d'utiliser cette pseudo-entité hydraulique pour tenter d'établir des relations entre population et pollution de l'eau du système.

Nous avons pu, à l'aide du système d'informations géographiques, calculer et cartographier les données se rapportant à la zone correspondant grossièrement au "bassin versant" du centre de captage de Thiaryoye. Cette zone est en effet particulièrement intéressante pour les problèmes de pollution des nappes : elle compte sur 1352 hectares habités plus de 460.000 habitants -dont 62% vivent dans la zone d'urbanisation irrégulière- soit une densité moyenne de 340 habitants à l'hectare habité (minimum : 166, maximum : 649), et 319 habitants/ha si l'on compte le camp militaire. Mal alimentés en eau courante les résidents ne consomment en moyenne que 25 litres/jour/habitant (minimum : 16 l, maximum : 45 l), eau venant pour l'essentiel des bornes fontaines alimentées par des ressources diverses intégrées dans le réseau de distribution du grand Dakar, ou de puits creusés sur place (dans une proportion de l'ordre de 10%). Une enquête sur un échantillon de 764 ménages représentatifs de cette zone, fait apparaître que si 87,7% des chefs de ménages déclarent disposer d'un lieu de défécation privé, seuls 15,7% ont fait une opération de vidange dans l'année précédant l'enquête ! C'est dire la gravité des risques de pollutions des nappes.

## 2 - ASPECTS HYGIENIQUES DE LA POLLUTION DES EAUX PAR L'AZOTE NITRIQUE DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT D'AFRIQUE

La pollution des eaux par l'azote nitrique  $\text{NO}_3$ , est surtout connue actuellement comme la conséquence de l'excès de fertilisation des cultures industrielles des pays développés. Toutefois, dans les pays "les plus avancés" des pays en développement, la montée des teneurs en nitrates est à l'évidence liée à des zones particulières d'intensification de la production agricole (plaine du Tadla au Maroc, de la Mitidja en Algérie). Peu connue, peu étudiée dans les PVD, la pollution par les nitrates a surtout été considérée, soit comme une manifestation de grands changements "écologiques" (déforestation), ou également comme une pollution ponctuelle autour de points d'eau pastoraux.

Hormis ces deux causes, la faible pression anthropique sur le milieu ne faisait pas peser de lourdes menaces dans les zones rurales, où la densité de l'habitat est faible. Par contre, des villages ou bourgades de pays où la tradition comporte un habitat groupé ont présenté des teneurs élevées en  $\text{NO}_3$  des eaux de puits (Groen J. et al. 1987).

Les grandes villes modernes africaines sont depuis quelques décennies alimentées en eau potable par des adductions de provenance lointaine, aussi la pollution azotée n'est guère à redouter avec ce type de ressource. Mais le développement de l'habitat informel, non assaini et non desservi en eau par des réseaux collectifs allait poser le problème de la compatibilité d'une alimentation et d'un assainissement tous deux autonomes (Forster 1985, Joseph et al. 1988).

Les nitrites, dérivées des nitrates, par réduction microbiologique intestinale, présentent une toxicité reconnue pour le nourrisson chez lequel ils engendrent une maladie du sang, la méthémoglobinémie. Cette maladie peut conduire à la mort dans les cas non convenablement traités. Chez l'adulte, la formation de composés aminés, les nitrosamines, aurait des conséquences cancérigènes à plus ou moins long terme (FRITSCH, 1985).

L'O.M.S. pour les pays en développement, la C.C.E. et les services compétents des Etats en Europe, ont placé prudemment la concentration maximale admissible à 50 mg/l dans l'eau de boisson. Quelques mg/l, voire

quelques dizaines, ne constituent pas à proprement parler une pollution, le nitrate étant un composant naturel du cycle de l'eau. Le caractère nouveau et relativement marginal par rapport aux grandes endémies, de la pathologie des nitrates a, jusqu'alors, suscité peu d'études dans les Pays en Développement (Botswana, Namibie). L'allaitement maternel étant quasi généralisé, on a peu décrit de cas de méthémoglobinémie en milieu rural. Mais une évolution défavorable des conditions est à redouter : elle peut être liée aux effets de l'aide alimentaire (biberons confectionnés avec des eaux polluées), ou à certaines modifications des modes de vie en milieu urbain (mères travaillant à l'extérieur). Par ailleurs, l'espérance moyenne de vie actuellement de l'ordre de 30 à 35 ans dans les PVD, n'a pas permis de démontrer avec certitude l'apparition de cancers "spécifiques", ceci d'autant que par suite de l'urbanisation récente peu de personnes ont été exposées longtemps aux teneurs élevées en nitrate.

### 2.1 - Bref rappel sur le comportement des nitrates dans la zone non saturée

L'azote organique ne passe pas en totalité à l'état nitrique : il se produit, au stade ammoniacal d'importantes pertes par volatilisation atmosphérique. L'ensemble des réactions évoquées se passe dans le sol et le proche sous-sol, en aérobiose. Les eaux du sol (eau du milieu non saturé) et du proche sous-sol donc susceptibles de contenir des nitrates, dont la concentration sera principalement liée : à la charge azotée initiale, au taux de perte par volatilisation, à la consommation par les plantes et enfin à la dilution par les pluies.

S. FOSTER, 1985, a établi un modèle simplifié qui tente de relier la concentration en azote dans l'eau souterraine à la densité de population et aux "pluies efficaces". Bien que la pluie efficace ne puisse pas être toujours assimilée à l'infiltration, l'inconnue majeure demeure la volatilisation, que cet auteur estime à 90% du poids d'azote émis. L'établissement d'un tel bilan suppose également que le système soit parvenu à un régime d'équilibre, c'est à dire que le flux d'azote et son support, le flux hydrique, sont en régime permanent.

### 3 - LES CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES DE LA ZONE DE PIKINE (fig. 1)

La "zone de Pikine-Thiaroye" qui correspond au pédoncule de la presqu'île du Cap Vert, est exclusivement constituée de dépôts quaternaires. On trouvera une bonne synthèse hydrogéologique dans la publication de A. MARTIN, 1970. Les sables éoliens, d'âge ogolien, disposés en cordons NE/SW ne présentent plus qu'un relief atténué, laissant cependant place dans les couloirs interdunaires à des dépressions, les Niayes, partiellement comblées par des dépôts tourbeux, occupées par des plans d'eau libre.

Le sable de Pikine n'est pas surmonté par un sol végétal ; argile et matière organique -à l'exception d'ordures dégradées- font défaut partout, à l'exception des Niayes, aussi n'y-a-t-il guère beaucoup à attendre des phénomènes de dénitrification qui se passent habituellement dans la zone non-saturée. Les nitrates produits par les excréta ne sont pas susceptibles d'être "réorganisés" pour alimenter la végétation : celle-ci est quasi inexistante compte-tenu de la densité de l'habitat (à l'exception de quelques zones maraichères, en bordure des plans d'eau).

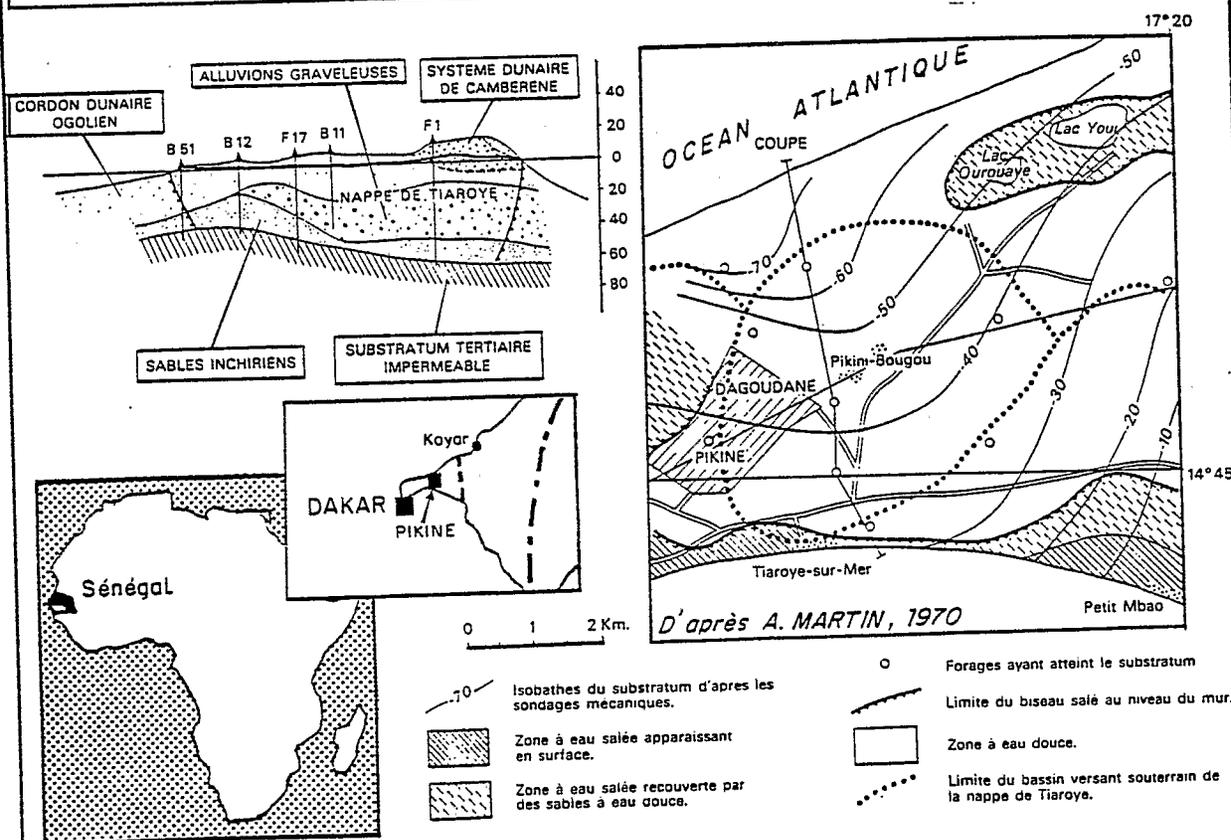
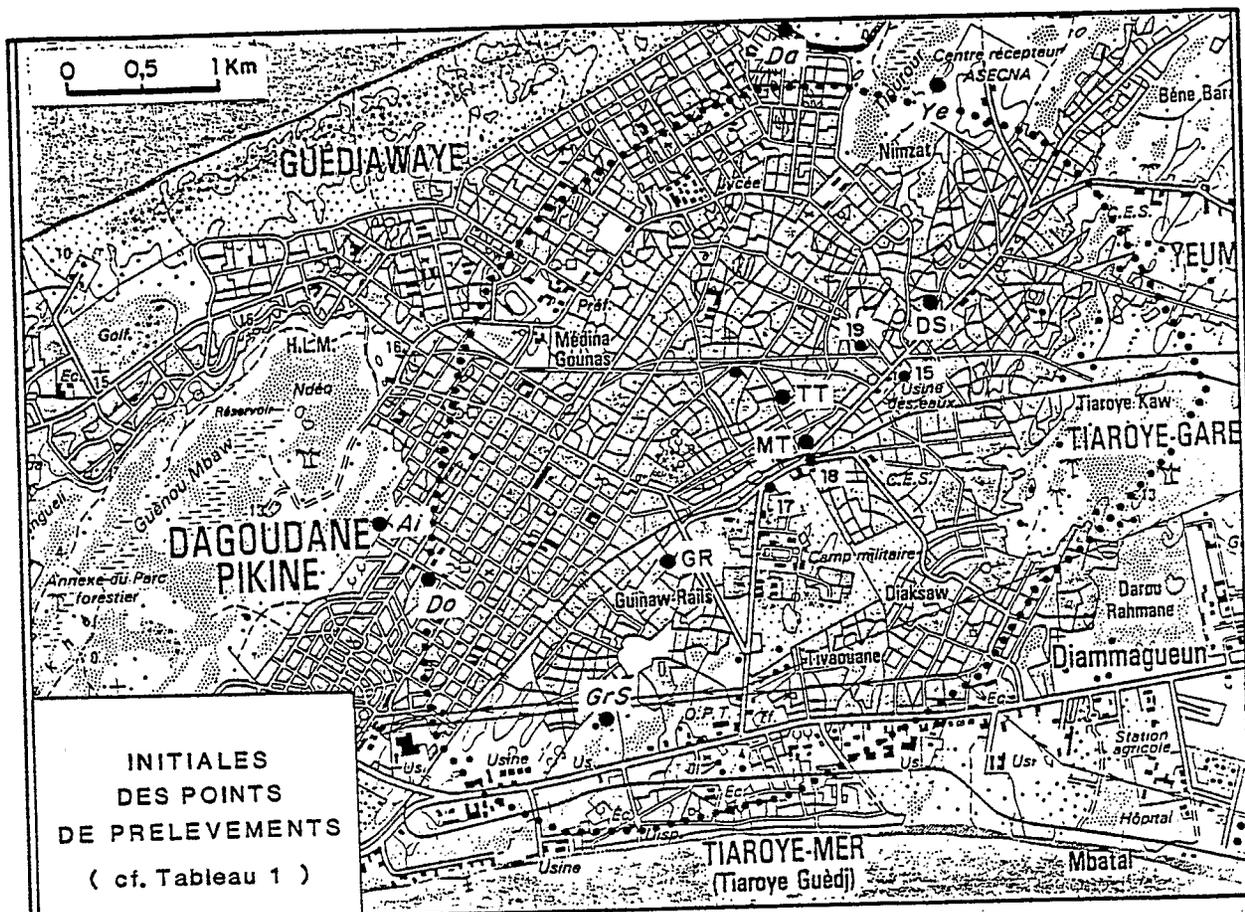


Fig. 1 - Principales données hydrogéologiques et points de prélèvements

Le matériau sableux présente des propriétés aquifères, qui ont permis l'implantation du centre de captage de Thiaroye. La perméabilité des sables est comprise entre 1 et  $5.10^{-5}$  m/s et compte-tenu de l'épaisseur de l'aquifère, qui comporte en profondeur des couches graveleuses, la transmissivité peut atteindre  $1.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s et des débits avoisinant 100 m<sup>3</sup>/h par forages peuvent ainsi être obtenus (A. SECK, 1988).

Les débits moyens extraits depuis 1950 du champ de captage ont décliné de 15.000 m<sup>3</sup>/j lors de la mise en service à 10.000 m<sup>3</sup>/j depuis 1970 et ont conservé cette valeur jusqu'à maintenant. Le vaste cône de dépression a atteint 19 km<sup>2</sup> et a été cartographié par A. MARTIN (op cit) en 1970 avec une superficie de 16 km<sup>2</sup> qui semblait être stabilisée pour 10.000 m<sup>3</sup>/j de prélèvement moyen. Il est toutefois à noter que le rabattement de la nappe a asséché des zones marécageuses, qui ont été depuis l'objet d'une urbanisation irrégulière ; en conséquence l'arrêt éventuel du pompage signifierait l'inondation de quartiers entiers !

L'équilibre du bilan a été vérifié par modélisation mathématique (Géohydraulique, in O.M.S., 1972) et c'est sur cette base que l'exploitation a été réglée à 10.000 m<sup>3</sup>/j débit dit de sécurité, capable de maintenir "stable" la position de l'interface avec l'eau marine toute proche. Cette stabilité a été, dans ses grandes lignes confirmée par les faits (près de 40 ans de pompage à 3,6 M de m<sup>3</sup>/an sans augmentation importante de la salinité). Cette seule constatation accrédite l'ordre de grandeur des apports  $\approx$  225 mm qui ont compensé le prélèvement de 3,6 M m<sup>3</sup> sur 16 km<sup>2</sup>.

#### 4 - DONNEES ANALYTIQUES

Nous avons pu accéder, dans le dédale du "Pikine irrégulier", à un certain nombre de puits, privés, situés dans des "concessions", ou publics, situés dans des rues ou placettes. Des prélèvements ont également été effectués dans quelques "céanes", excavations utilisées par les maraîchers pour l'arrosage ; ces céanes sont en bordure des "Niayes" et en général à une distance de cent à plusieurs centaines de mètres des zones d'habitat dense. Une autre série de prélèvements a été effectuée par deux fois sur les ouvrages exploités par la S.O.N.E.S. <sup>(1)</sup> dans le cadre d'un programme de surveillance de l'intrusion des eaux marines réalisé avec l'appui du C.R.D.I. <sup>(2)</sup>.

L'environnement de l'ensemble des puits laissait présager de fortes pollutions ; effectivement des concentrations de plusieurs centaines de mg/l c'est à dire de 5 à 10 fois supérieures à la norme O.M.S. ont été relevées, toutefois les valeurs sont assez dispersées (cf. tab. 1).

Bien que la notion de moyenne n'ait guère de signification en pareil cas, il apparaît que la pollution azotée s'établit dans la fourchette 250-500 mg/l de NO<sub>3</sub>. Les forages, dotés de périmètres de protection, ne sont pas épargnés. La pollution considérable de l'eau de ces forages n'est toutefois pas une contrainte excessive pour la société distributrice qui dispose d'un ensemble d'autres ressources (160.000 m<sup>3</sup>/j dont 117.000 d'eau souterraine) qui lui offrent des possibilités de

(1) S.O.N.E.S. : Société Nationale des Eaux du Sénégal.

(2) C.R.D.I. : Centre de Recherche pour le Développement International (organisme du Canada).

dilution susceptibles de ramener la teneur de l'eau à des valeurs acceptables.

Ainsi la population réellement exposée est celle des résidents qui s'approvisionnent aux puits de manière quasi exclusive.

Les seules teneurs relativement faibles proviennent de céanes situées dans un environnement maraîcher, mais on pourrait évoquer aussi pour expliquer ces basses valeurs, l'hypothèse de la dénitrification dans les milieux tourbeux des Niayes comme cela est maintenant bien connu en Europe (B. SIMON, 1986) : un programme d'analyses isotopiques permettrait de le vérifier.

Tableau 1  
Nitrates, zone de Pikine sur échantillons stabilisés  
à l'hypochlorite en mg/l NO<sub>3</sub>

Cf. situation figure 1	Laboratoire	ORSTOM DAKAR		ENSUT DAKAR	BRGM ORLEANS
	Prélèvements	Jun 87	Oct. 87	Mars 88	Juin 88
<u>Forages SONES</u> n°	15			495	140
	17			670	205
	18			355	130
	19			685	235
	22			485	155
<u>Puits traditionnels</u> (initiales "élite")	Dar ou Salam	360	356		
	Médina Thiaroye	369	325		
	Touba Thiaroye	580	550		460
	Guinaw-rail	422	360		
<u>Céanes</u> (initiales italiques)	Daroukhane	44	23		
	Yembeul	165	118		
	Ainoumane	426	616		
	Dominique	15	15		
	Guinaw-rail (S.I.P.S.)	334	303		

## 5 - BILAN DES NITRATES

Grâce à l'emploi de la méthode cartographique (fig. 2), le dénombrement des habitants puis l'affectation des usagers à diverses catégories de volumes de consommation d'eau permet d'évaluer à 1.832 M m<sup>3</sup>/an les retours à la nappe.

Les pompages de la SONES réalisent un prélèvement de 3.650 M m<sup>3</sup>/an, auxquels il faut ajouter 0.215 M m<sup>3</sup> prélevés sur les puits, soit un débit total de 3.865 M m<sup>3</sup>/an pris à la nappe. En considérant que l'équilibre hydrodynamique est "grossièrement acquis" l'infiltration pluviale serait alors de 2.033 M m<sup>3</sup> en année moyenne, ce qui sur la surface concernée correspond à une lame d'eau de 140 mm.

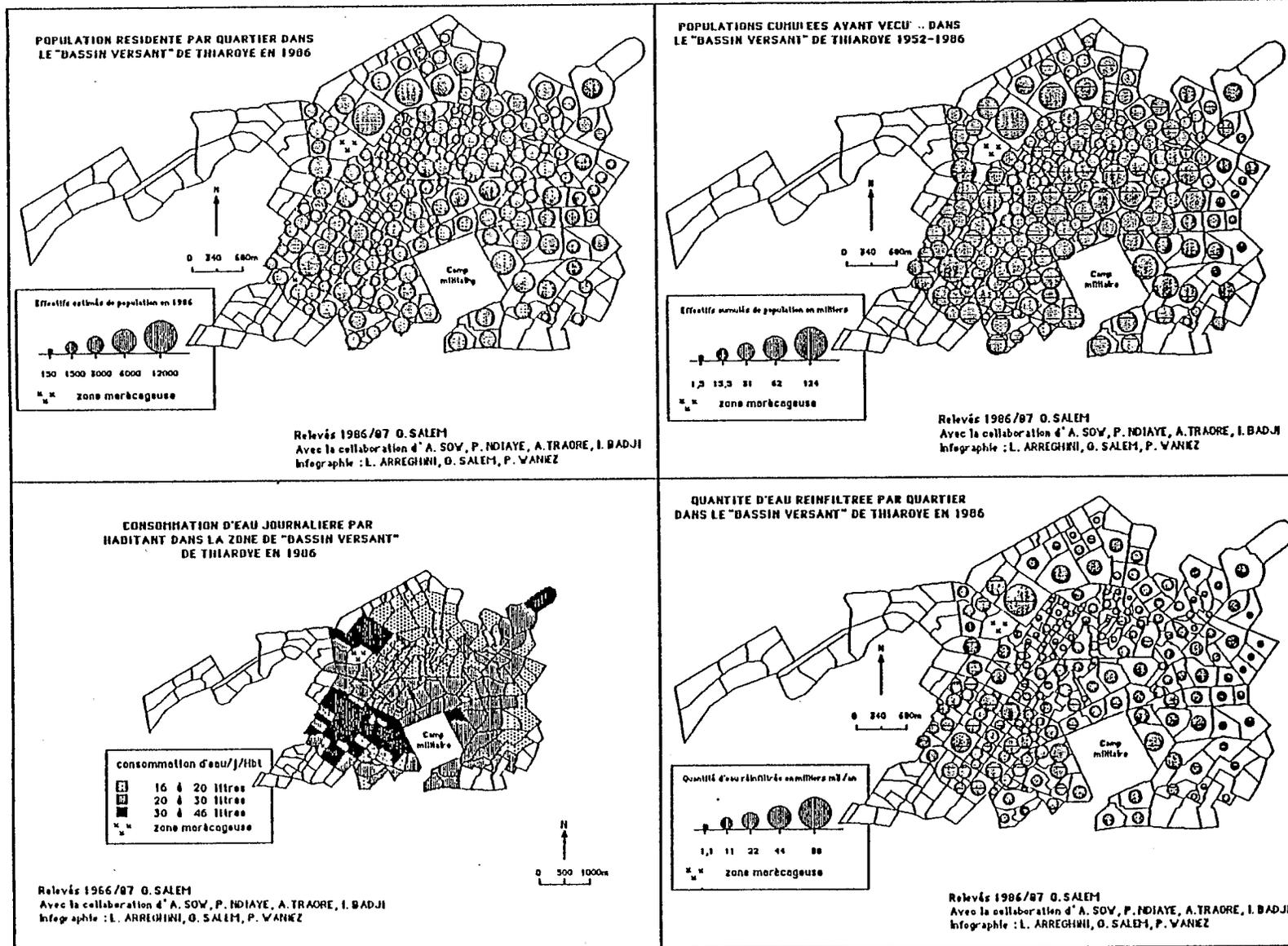


Fig. 2 - Démographie et utilisation de l'eau sur le "Bassin versant" de Thiarye

La charge azotée émise par les 460.000 habitants résidant sur la surface, à raison de 2.2 kg/an selon FORSTER, est donc de 1.012 M de kg (mille tonnes) ; rapportée à 2 M m<sup>3</sup> de pluie infiltrée, cela conduit à une concentration en nitrate de 497 mg/l des eaux qui vont rejoindre la nappe.

Ce sont effectivement des valeurs de cet ordre qui sont relevées sur les puits.

### 5.1 - Interprétation et discussion

Le modèle de FORSTER ne prend pas en compte explicitement les retours à la nappe, qui dépendent trop de conditions locales, mais seulement les pluies efficaces ; il suppose également l'établissement d'un régime permanent pour tous les phénomènes en jeu. C'est semble-t-il sur ces bases que le paramètre "entrée" a été ajusté par l'auteur à 10% du poids annuel d'azote excrété. Les éléments sur l'infiltration pluviale sont également rarement bien connus et toujours très variables. Si le modèle de FORSTER est validé, c'est donc de manière globale, et l'indétermination subsiste entre le taux exact de volatilisation de l'azote et la valeur de la pluie infiltrée, ces deux paramètres étant susceptibles de se compenser.

La non prise en compte explicite des retours à la nappe est sans doute une option prudente. Si on souhaitait prendre en compte la totalité des flux hydriques, pour "caler" le modèle sur les résultats analytiques il faudrait alors admettre un taux de minéralisation plus élevé de la matière azotée (ou de volatilisation plus faible).

Reconnaissons également le caractère imprécis de l'évaluation des volumes réinfiltrés, estimés d'après les comportements domestiques des résidents. L'ajustement que nous avons obtenu conduit à 140 mm de pluie efficace, valeur élevée et peut-être excessive pour la région (un bilan de TURC sur 30 ans ayant donné 88 mm, BRGM-Géohydraulique, 1986). La discussion pourrait alors porter sur la signification de la pluie efficace "calculée" par rapport à la lame d'eau réellement infiltrée dans ce milieu très particulier et dépourvu de réseau d'écoulement superficiel.

La validation convenable du modèle concerne les eaux des puits, qui exploitent, à la frange supérieure de la nappe, les apports de ces dernières années au cours desquelles la population a été la plus dense.

Les forages, eux, captent l'aquifère sur toute son épaisseur, celui-ci comportant une réserve estimée au moins à 50 M m<sup>3</sup>, d'une eau "ancienne" et potentiellement réductrice (teneur en fer nécessitant un traitement). On peut donc s'attendre, en fonction des arrêts et reprises du pompage à avoir des prélèvements comportant des parts relatives variables d'eaux profondes pauvres -ou appauvries- en NO<sub>3</sub> et des eaux de la surface du cône de rabattement, riches en NO<sub>3</sub> (une approche isotopique permettrait peut-être d'élucider ce problème).

## 6 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### 6.1 - Au plan pratique

Le dépassement considérable des normes de potabilité en NO<sub>3</sub> fait peser un risque sanitaire sur les populations qui s'alimentent en eau de

la nappe, notamment sur les ménages qui disposent d'un puits dans leur cour.

L'évolution à attendre est la généralisation du phénomène et l'en-  
vahissement progressif de la nappe par une eau contenant au moins 500  
mg/l de NO<sub>3</sub>. D'autres pollutions d'origine urbaine sont également à redouter. Les nitrates étant les éléments avant-coureurs les plus aisément détectables.

Les principales craintes qui pesaient jadis sur la nappe, à savoir la perte d'alimentation par l'urbanisation et l'intrusion salée sont reléguées au second plan : la pollution condamnera probablement l'usage de cette nappe avant toute autre cause.

L'arrêt éventuel des pompages, allié à la quantité d'eau usée réinfiltrée est susceptible de provoquer une remontée de la nappe capable de noyer des quartiers entiers. Une simulation de ce phénomène serait à envisager dans la perspective d'arrêt des pompes.

## 6.2 - Au plan méthodologique

Tout contrôle de la salinité, fondé exclusivement sur des mesures de conductivité, pour étudier la progression d'eau marine s'avère imprécis : ce paramètre est fortement "bruité" par la présence de NO<sub>3</sub> mais aussi des chlorures (3,5 g/j/hab.) qui accompagnent l'azote.

Il subsiste un champ de recherche considérable à explorer, notamment en tentant d'exploiter le système de Pikine pour mieux ajuster l'évaluation du taux de minéralisation de l'azote (modélisation transitoire "rétrospective").

Dans le domaine épidémiologique, l'existence d'une population-témoin dont certains éléments sont exposés depuis une vingtaine d'années au risque d'effets carcinogénétiques des nitrates à forte teneur, devrait susciter des travaux rarement possibles dans d'autres contextes, alors que l'on peut s'interroger sur la sévérité de normes de concentration dix fois inférieures à celle de l'eau consommée à Pikine.

## 7 - BIBLIOGRAPHIE

FRITSH, P. - "Réactivité biologique des nitrates et des nitrites".  
Congrès "Nitrates dans les eaux" (Paris), Oct. 1985, pp. 22-24.

FOSTER, S.S. D. - "Potable groundwater supplies and low-cost sanitary engineering. How compatible ? Natural resources". Forum (C) United Nations, 1985, vol. 9 n° 2, pp. 125-132.

GROEN, J.; SCHUMANN, J.B.; GERNAERT - "La relation entre la présence de nitrates dans les eaux souterraines et la densité d'habitat des villages du Nord-Ouest du Burkina-Faso". Bull. de liaison du CIEH n° 70 (Ouagadougou), Oct. 87, pp. 34-39.

JOSEPH, A.; BOUREIMA, O. - "Pollution nitratée de la nappe alluviale du fleuve Niger à Niamey". Annales de l'Université de Niamey, 1988.

MARTIN, A. - "Les nappes de la presqu'île du Capt-Vert (République du Sénégal), leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar". Doc. BRGM, 1970.

- O.M.S. - "Approvisionnement en eau et assainissement de Dakar et de ses environs. Etude des eaux souterraines". Note de synthèse, 1972.
- SALEM, G.; JEANNEE E. - "Phénomène urbain et santé dans le tiers monde". Ouvrage "Etat de la Santé et de la Recherche Médicale", collection "La Découverte", 1988, INSERM.
- SALEM, G. - "Urbanisation et santé dans le tiers monde : transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires". Doc. ORSTOM (sous presse), 1989, 570 pp.
- SECK, A. - "Hydrogéologie de la presqu'île du Cap-Vert. Synthèse de la nappe des sables quaternaires, géométrie et structures du réservoir". D.E.A., département de géologie, Université C.A. DIOP de Dakar, 1988.
- SIMON, B. - "Apport de la biogéochimie isotopique à la connaissance de la dénitrification dans les eaux souterraines". Thèse Université P. & M. Curie, Paris VI, 1986, 163 p., 61 fig., 28 tab., 5 annexes.