

ANALYSE ET MODÉLISATION DE LA VULNÉRABILITÉ AUX MALADIES À TRANSMISSION HYDRIQUE DANS L'ESPACE URBAIN DE LA VILLE DE BATNA – NORD-EST ALGERIEN

BAZIZ NAFISSA*, KALLA MAHDI**, DRIDI HADDA**, BOUTRID MOHAMED LAMINE***

Mots clés: eau, ville, qualité bactériologique, risque, santé, SIG, Batna (Algérie).

Analysis and modelling of vulnerability to disease transmission water in the city of Batna – North-Eastern Algeria. In a semi-arid area the scarcity of water resources, including those for domestic consumption is often associated with the problem of potability, given their physical-chemical and bacteriological characteristics. The city of Batna, Algeria's fifth largest city, has to cope with the quality of drinking water from a microbiological point of view, since there are many cases of infiltration of sewage into the water supply network (cross-connection). The environmental situation presents a real danger to public health and can cause epidemics difficult to contain. The numerous epidemic outbreaks observed in the past, along with more recent ones, suggest that drinking water could significantly contribute to endemic diseases. Indeed, the results of the recent bacteriological analyses made by us throughout the water cycle from source to tap via the network, show the continuing deterioration of the bacteriological quality of the water supplied to the city of Batna. The results confirmed our assumptions about the quality of the management of this resource and we showed how the Batnean urban space is marred by the inconsistency of both urban fabric and the associated networks. To estimate and spatialize the level of risk, we rely on a method for assessing vulnerability by digital index coupled with a Geographic Information System (GIS). Several methods have been developed for the assessment of vulnerability to pollution, among these the DRASTIC method, mostly used worldwide, has been identified as one of the vulnerability methods specific to appraising groundwater pollution. In this article we present a method for estimating the risk of vulnerability to waterborne diseases (WD) in a middle town of north-eastern Algeria. This method can be applied to any drinking water distribution network, taking into account the five parameters influencing vulnerability (outdated networks, unplanned urbanization, type and quality of materials behaviour, population density, and lack of water resources). Synthesis maps, spatializing these parameters enable visualization of the main areas at risk of water supply contamination in the city. The results should contribute to the protection of vulnerable areas and WD control in an urban zone and will be used to develop concerted urban development master plans.

1. INTRODUCTION

La ville de Batna par son extension rapide et le développement des activités, liées à une démographie galopante, voit ses besoins en eau en constante augmentation, ces besoins sont en majorité jusqu'en 2007 satisfaits par des eaux souterraines, le barrage de koudiat M'douar n'est venu renforcer les apports qu'à partir de 2007. Les eaux destinées à la consommation ne sont pas toujours dénuées de pollution, certains éléments détectés sont plutôt alarmants. Dans la ville de Batna le risque de maladie microbienne associé à l'eau potable est actuellement un sujet hautement prioritaire pour les autorités responsables de la gestion des eaux. La fièvre typhoïde sévit durablement dans cette ville et continue d'entraîner plusieurs cas d'hospitalisations par an. Certaines années sont tristement marquées par l'ampleur de la contamination, par exemple l'année 2004 a enregistré 178 de cas de typhoïde, la propagation de cette maladie due à la mauvaise qualité de l'eau liée aux divers facteurs, tel que: une

* Maître assistant, Laboratoire des Risques Naturels et Aménagement du Territoire (LRNAT), Université de Batna, Algérie, nafissa_tigu@yahoo.fr

** Professeur, Laboratoire des Risques Naturels et Aménagement du Territoire (LRNAT), Université de Batna, Algérie, m_kalla1@yahoo.fr, hadda.driddi@gmail.com.

*** Doctorant, Laboratoire des Risques Naturels et Aménagement du Territoire (LRNAT), Université de Batna, Algérie.

urbanisation rapide et anarchique non maîtrisable, vétusté des réseaux, une démographie galopante aggravée par une insuffisance quantitative des ressources hydriques et surtout la gestion de l'eau ne relie pas les aspects qualitatifs de l'eau aux problèmes de la santé humaine et environnement.

Pour mettre en évidence les causes réelles de vulnérabilité dans le temps et l'espace. Il sera nécessaire d'effectuer une spatialisation cartographique des différents paramètres influant sur le niveau de vulnérabilité. La carte de risque MTH fait ressortir l'hétérogénéité territoriale (spatiale) de l'exposition à travers la spatialisation des différents facteurs à risque et les vulnérabilités induites. L'approche indicielle des paramètres de vulnérabilité spatialisés génère un nombre important de variables dont l'interaction nécessite la mise en œuvre de base de données géo référencées associées à un SIG, ce qui permettra la conception des scénarios modélisés du risque MTH et ses impacts sur l'espace urbain. Les applications fondées sur les SIG et les méthodes d'analyse spatiale se multiplient en épidémiologie et en géographie de la santé. Ceci est le résultat de la prise de conscience de l'intérêt de mieux cibler les populations et les espaces à risques en santé publique (Charlotte Roudier Davel 2006).

2. METHODOLOGIE

Ce projet exige en premier lieu la caractérisation détaillée des secteurs urbains à cartographier, notamment l'identification des paramètres urbains et socio-économiques qui interviennent dans le phénomène de contamination de l'eau potable, provoquant donc les foyers des MTH.

L'importance de chaque facteur en termes de vulnérabilité dépend de son poids exprimé par un indice numérique qui représente une évaluation de niveau de risque de contamination. Le risque augmente avec la valeur de l'indice. Pour cette étude il sera nécessaire de:

1. Effectuer des analyses bactériologiques tout au long du cycle hydraulique urbain à savoir de la source au robinet en passant par le réseau.
2. Estimer le risque de contamination par un indice numérique basé sur la vulnérabilité et le poids d'impact des différents facteurs de vulnérabilité liés aux maladies à transmission hydrique (urbanisation anarchique, vétusté des réseaux, matériaux des réseaux, pression démographique ...).
3. Synthétiser le phénomène par la mise en œuvre de base de données géoréférencées associée à un SIG.

2.1. Présentation de la zone d'étude

La ville de Batna, capitale des Aurès, chef lieu de la wilaya, située à 425 km au Sud de la capitale, elle se trouve localisée entre 6°11' de longitude Est et 35°33' de latitude Nord. La ville est située dans une cuvette entourée de montagnes. Son altitude varie entre 900 et 1 040 m. La classe de pentes faibles (0 à 3 %) représente la plus grande partie de la surface, cette classe favorise la réalisation des divers réseaux mais en revanche elle se caractérise par une faible évacuation des eaux. L'assiette de la ville de Batna est traversée par deux grands cours d'eau (Batna et Tazoult), dont la confluence forme Oued El-gourzi, au sein même de la ville. Cette situation l'expose aux inondations lors des crues. La région de Batna est caractérisée par une gamme variée de faciès géologiques allant du secondaire jusqu'à quaternaire. La zone de la plaine (ville) est composée de formations quaternaires essentiellement des dépôts alluvionnaires récents à perméabilité élevée. La lithologie la plus répandue dans la zone montagneuse est à prédominance calcaires et marnes avec une perméabilité moyenne, et élevée par fissuration des calcaires. Le climat de la ville de Batna est celui d'une région semi-aride. La température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées. Durant l'été la température peut atteindre les 45°C à l'ombre. La pluviométrie moyenne est de 350 mm par an, ces conditions d'aridité particulières ont permis

l'écllosion de nombreux foyers épidémiques de maladies hydriques dans la ville de Batna durant les saisons estivales.

La croissance progressive de la ville de Batna suivant plusieurs étapes s'est traduite par une typologie d'habitat très diversifiée entre collectif et individuel. La vétusté et l'absence de conformité des réseaux dans certains quartiers favorisent l'apparition des foyers de MTH par interconnexion (cross-connexion) entre réseau d'AEP et réseau d'assainissement.

Pour mieux étudier et analyser les paramètres influents sur la vulnérabilité aux MTH la ville a été découpée en 12 secteurs urbains (Fig. 1).

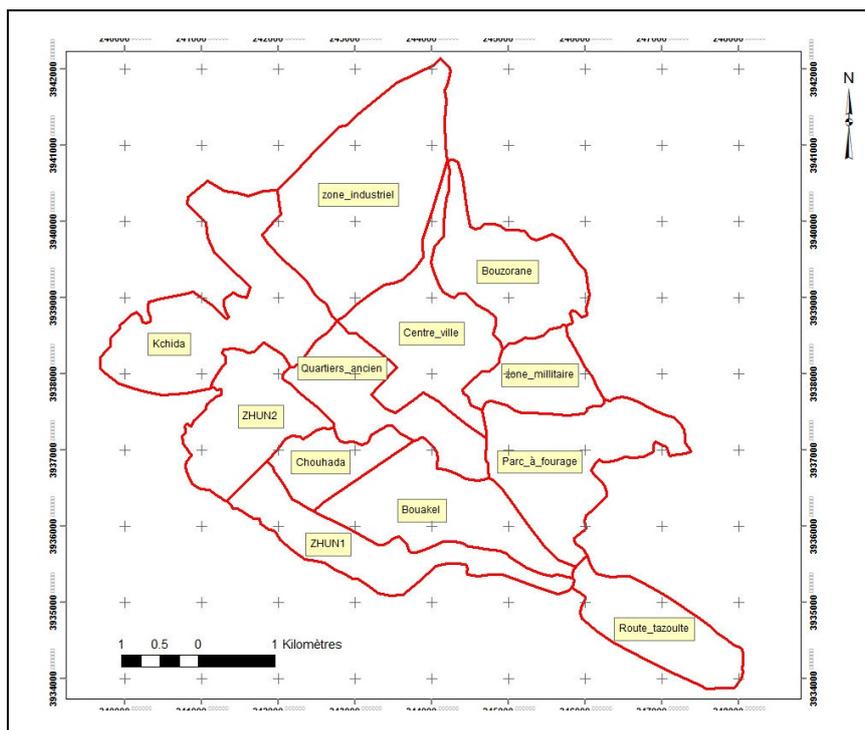


Fig. 1 – Secteurs urbains de la ville de Batna.

2.2. Les facteurs de vulnérabilité liés aux maladies à transmission hydrique (MTH) dans la ville

L'apparition des foyers épidémiques dans la ville de Batna est liée à la convergence de plusieurs facteurs aggravants dont les effets cumulés expliquent l'état de vulnérabilité.

✓ **L'insuffisance des ressources hydriques.** La ville de Batna est approvisionnée en eau potable à partir de 20 forages. La seule ressource en eau de surface est en service par le transfert de barrage Koudiat Medaour. Le volume distribué à Batna est de l'ordre de 22.952 m³/j, soit un déficit de 34.252 m³/j par apport aux besoins identifiés, le taux de satisfaction globale de la population est de 41%. La ville enregistre un déficit en eau situé autour de 59%, les ressources disponibles n'arrivent pas à couvrir l'ensemble des besoins. La distribution de l'eau est caractérisée par une discontinuité dans la plus part des quartiers (Fig. 2). Les coupures d'eau peuvent avoir des conséquences dramatiques au plan social et sanitaire, car en absence d'eau une multitude de mode d'approvisionnement en eau apparaissent et autant de risque de contamination et donc de foyers épidémiques non maîtrisables (Boukheris et Soukhel).

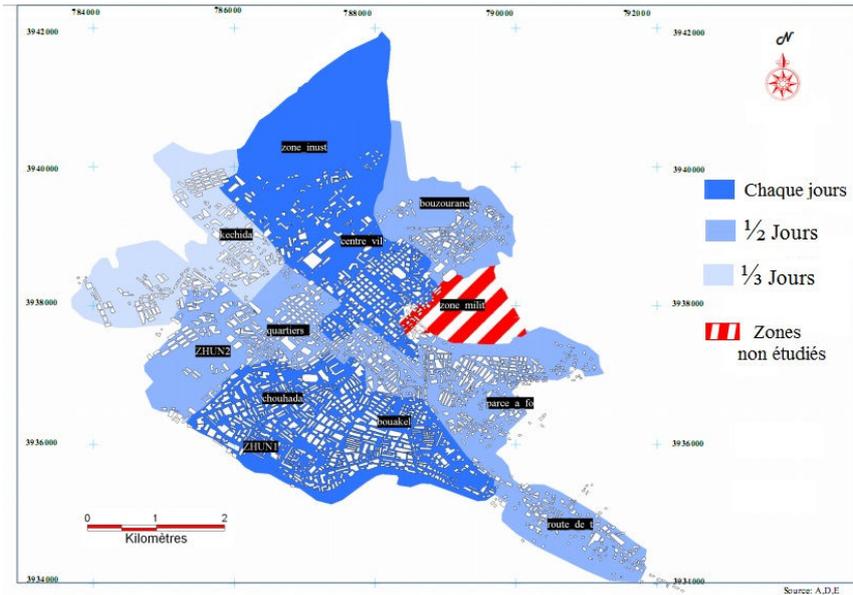


Fig. 2 – Programme de distribution de l'eau potable dans la ville de Batna.

✓ **Une forte poussée démographique.** La ville de Batna a connu un accroissement démographique élevé, résultat d'une forte intensité des migrations internes, et notamment de l'exode rural, ajouté à la croissance naturelle de la ville, la population totale s'élevait à 302.585 habitants en 2010. La croissance démographique a amplifié la crise de l'habitat; le développement de quartiers insalubres générés de nombreux problèmes surtout le problème de l'eau potable et l'assainissement. Selon Samuel Rufat (2007) la densité qui est un indicateur de la concentration des habitants et des flux est considérée comme le facteur le plus évident à la vulnérabilité. La carte de la densité (Fig. 3) indique des écarts importants d'un quartier à l'autre. Les plus marginalisés à habitats illicites enregistrent le plus de branchements illicites.

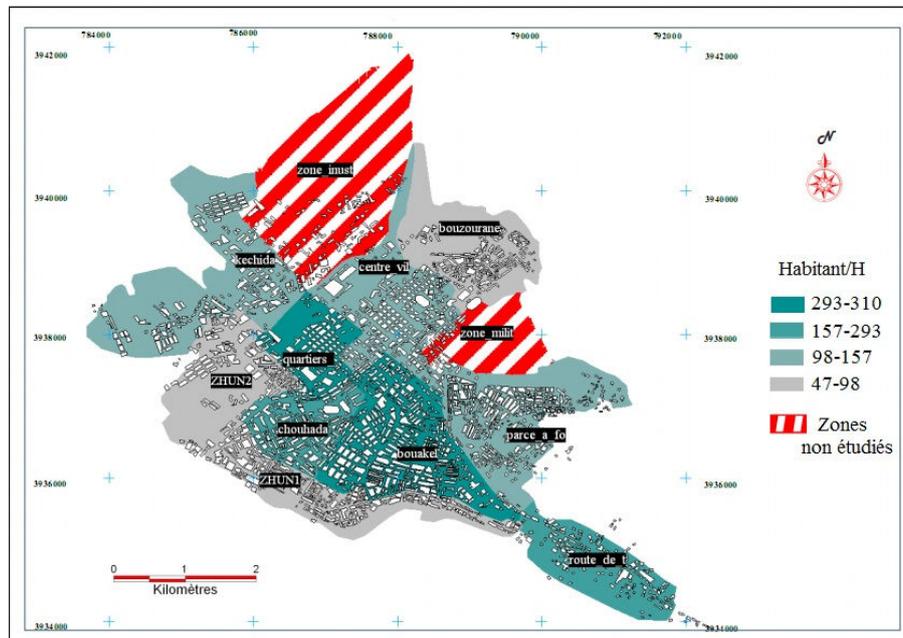


Fig. 3 – Densité de la population dans la ville de Batna (2010).

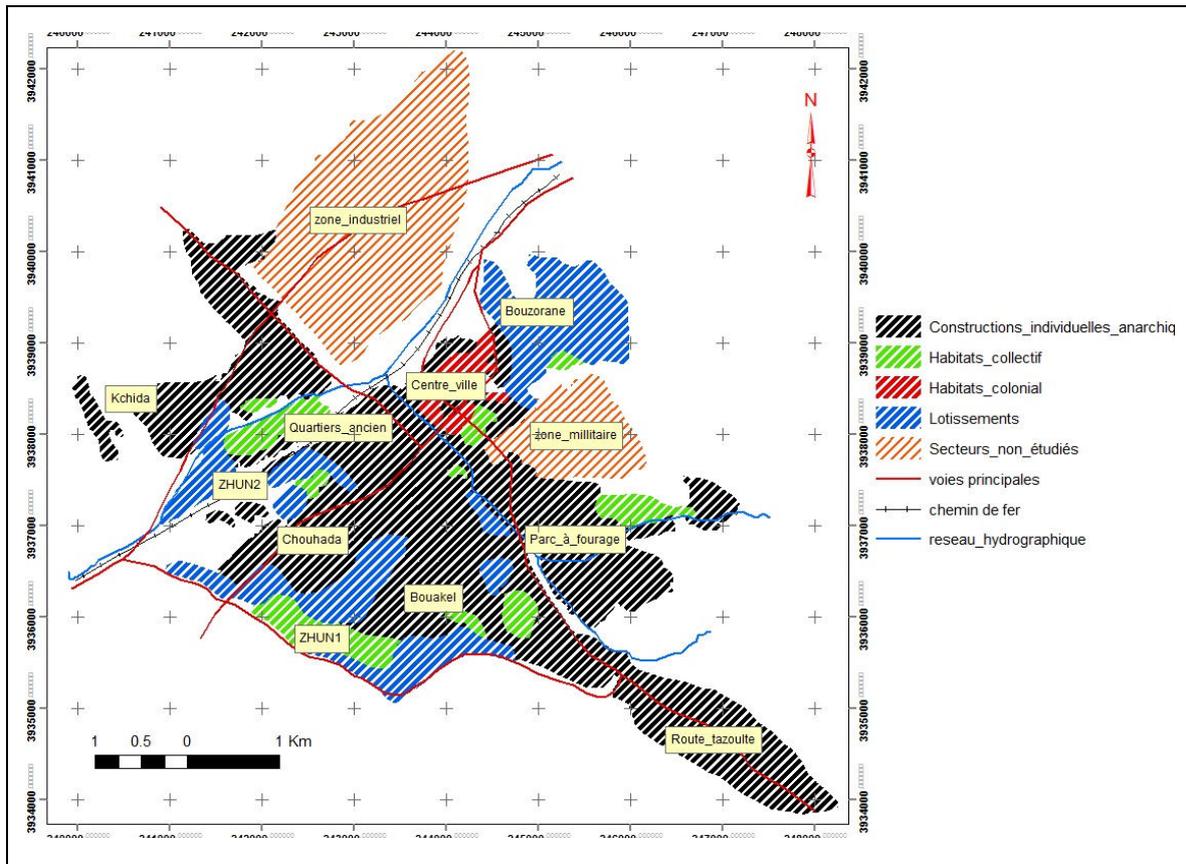


Fig. 4 – Les formes de l’habitat dans la ville de Batna.

✓ **Vétusté du réseau.** La ville de Batna dispose d’un réseau de distribution d’eau potable de 447.053 mètres linéaires, le taux de branchement est estimé à 97%. L’état de réseau est vétuste à 60% (Fig. 5); plusieurs analyses bactériologiques ont permis de mettre en évidence les effets néfastes de la vétusté du réseau sur la qualité de l’eau distribuée. La vétusté des conduites entraîne des «cross-connexion» responsables de pollution donc d’augmentation de la fréquence de maladies comme la fièvre typhoïde voire des diarrhées chroniques. A cela s’ajoute le fait que 40% des eaux captés en Algérie pour les besoins de la population se perd en raison de la mauvaise qualité des canalisations (Remini, 2005).

✓ **Nature des matériaux de conduites.** Le réseau d’alimentation en eau potable dans la ville de Batna est constitué de toutes sortes de matériaux (Fig. 6): acier (6%) amiante ciment (20%), fonte (10%) était quasi-exclusivement utilisée avant 1945 puis utilisée jusqu’en 1970. PEHD (12%), PVC (52%) leur utilisation a été prédominante à partir de 1975; par ailleurs 57% des branchements particuliers sont en plomb (Algérienne des eaux 2008). D’après Rodier (1996) certains matériaux sont vulnérables et peuvent influencer de manière significative la qualité de l’eau livrée au consommateur, cette influence peut prendre des proportions lorsque se développent des phénomènes de corrosion (cas de canalisations métalliques et des bétons) ou dégradation (cas des matériaux de type organique).

2.3. Estimation de la vulnérabilité par l'indice numérique

Pour estimer la vulnérabilité à la pollution bactériologique de l'eau distribuée dans l'espace urbain, nous nous basons sur une méthode qui consiste à la détermination de l'indice de vulnérabilité, en tenant compte de tous les paramètres influents: l'insuffisance des ressources hydriques, vétusté des réseaux, matériaux des réseaux, densité démographique, urbanisation anarchique. L'importance de chaque facteur dépend de son poids (Tableau 1) variant entre une valeur de 05 pour les facteurs les plus significatifs et une valeur de 01 pour les facteurs qui le sont moins.

Tableau 1

Classification des paramètres selon leur influence sur la vulnérabilité

Paramètres	poids
Vétusté du réseau	5
urbanisation anarchique	4
type de matériaux	3
densité de la population	2
insuffisance des ressources hydriques	1

Affectation de différents poids aux paramètres a été faite sur la base des causes qui favorisent l'écllosion des foyers d'épidémie, par exemple la vétusté du réseau s'est distingué à chaque fois comme cause principale des «cross--connexions» responsables de la pollution, donc d'augmentation de la fréquence de maladies, notamment la fièvre typhoïde (phénomènes de corrosion, fragilité des conduites aux ouvertures des différents travaux et chantiers. Aussi l'urbanisation anarchique a un impact considérable sur la contamination et reste l'un des facteurs favorisant l'apparition et la persistance des MTH dans les quartiers spontanés qui enregistrent le plus de branchements illicites.

Dans cette méthode chaque facteur est codé de 0 à 4, suivant le degré de vulnérabilité aux MTH (Tableau 2). La plus petite cote représente les conditions de faible vulnérabilité à la contamination.

Tableau 2

Facteurs de vulnérabilité selon le degré d'influence

Age des conduites cote	cote	Forme urbaine	cote	Type de matériaux	cote	Densité Hab /ha	cote	Distribution de l'eau par jour	cote
1940–1965 4	4	Habitat individuel anarchique	4	Acier (corrosion)	4	293–310	4	1/4j	4
1965–1985 3	3	Habitat colonial (tissu vétuste)	3	Fonte (vétuste)	3	293–157	3	1/3j	3
1985–1995 2	2	Lotissement	2	Amiante ciment	2	157–98	2	1/2j	2
1995–2007 1	1	Habitat collectif	1	PVC et PEHD	1	< 98	1	Chaque jour	1

La vulnérabilité est évaluée par un indice numérique représentant la somme des cotes multipliée par le poids d'impact de chaque paramètre, tel que:

V: âge du réseau

F: forme urbain

M: type de matériaux

D: densité de la population

E: distribution de l'eau par jour

$PV \times CV + PF \times CF + PM \times CM + PD \times CD + PE \times CE = \text{indice de vulnérabilité}$

L'indice de vulnérabilité ainsi calculé représente une évaluation du niveau de risque de contamination de l'eau potable. Les valeurs de l'indice de vulnérabilité (IV) varient entre faible et très forte; elles sont classées comme il en suit:

IV > 60 (vulnérabilité très forte). 45 < IV < 60 (vulnérabilité forte).
 30 < IV < 45 (vulnérabilité moyenne). 15 < IV < 30 (vulnérabilité faible).

Appliquer cette classification à la ville de Batna permet de constater que les zones de forte contamination correspondent aux quartiers anciens de forte densité qui rallient la vétusté du réseau, les matériaux des conduites vulnérables, ainsi que les zones d'urbanisation anarchique non maîtrisables, sièges des branchements illicites, non-conformes aux normes techniques.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats d'analyses bactériologiques de l'eau:

Le but essentiel des analyses bactériologiques est en premier lieu de confirmer la présence de bactéries, puis de définir les circonstances dans la quelle cette eau a été contaminée pour envisager les actions de protection adéquates.

3.1.1. Résultats des analyses bactériologiques de l'eau potable de la ville de Batna (2005–2009)

A la lecture de la Figure 7, il apparaît que sur 6.304 examens microbiologiques qui ont été effectués, 1.524 examens soit (24,17%) se sont révélés positifs, témoignant d'une contamination certaine de l'eau destinée à la consommation humaine par les bactéries.

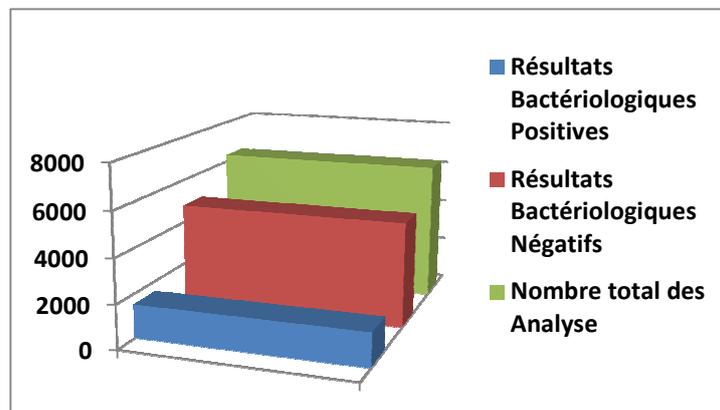


Fig. 7 – Résultats des analyses bactériologiques de l'eau potable.

3.1.2. Résultats des analyses bactériologiques d'eau par secteur urbain (2005–2009)

En général les eaux souterraines sont d'une grande pureté bactériologique, cette qualité se dégrade au fur et à mesure dans le réseau de distribution et avant d'atteindre le robinet du consommateur car la qualité bactériologique d'une eau n'est pas un paramètre stable, mais au contraire sujet à fluctuation, par pollution accidentelle, nécessitant des contrôles permanents et représentant la cause la plus fréquente de non potabilité de l'eau (Rodier, 2009).

La mauvaise qualité bactériologique de l'eau de boisson à Batna est due essentiellement à l'infiltration des eaux usées dans le réseau d'AEP (cross – connexion), ce facteur reste le plus favorisant à l'apparition des foyers des maladies à transmission hydrique notamment la typhoïde.

D'après le tableau 4, il apparaît que les secteurs Kechida, Parc à forage et Bouakal enregistrent un taux élevé d'eau impropre à la consommation par rapport à l'ensemble de la ville. Ceci est lié à la convergence de plusieurs facteurs aggravants dont les effets cumulés expliquent l'état de vulnérabilité. Ces quartiers sont généralement des quartiers densément peuplés et occupés de façon anarchique sans aucune planification préalable (Mpakam Hernanie *et al.*, 2006).

Tableau 3

Résultats d'analyses bactériologiques d'eau par secteur urbain (2005–2009)

Secteur urbain	Nombre total des analyses	Nombre négatif	Nombre positif	% d'eau impropre à la consommation
Centre ville	94	56	38	40,42
(Z'mala,Cité-Chicki)	363	243	120	33,05
Bouakal	243	131	112	46,09
Kechida	201	112	89	44,27
Chouhada	150	100	50	33,33
Bouזורane	75	41	34	45,33
Parc à forage	118	70	48	40,67
Route de Tazoult	27	19	8	29,62
ZHUN 1	105	80	25	23,80
ZHUN 2	158	111	47	29,74

La mauvaise qualité bactériologique de l'eau de boisson dans ces quartiers est due essentiellement à l'infiltration des eaux usées dans le réseau d'AEP (cross – connexion), ce facteur reste le plus favorisant à l'apparition des foyers des maladies à transmission hydrique notamment la typhoïde dans la ville de Batna.

3.2. Les cartes de synthèse (cartes de vulnérabilité)

Les cartes de synthèse sont utiles pour repérer les lieux où les risques et les vulnérabilités sont plus élevés au regard de l'ensemble des facteurs considérés (PropekZimmermann *et al.*, 2009). Dans cette étude ces cartes sont les résultats de la superposition de plusieurs couches d'informations relatant les différents facteurs de vulnérabilité liés aux maladies à transmission hydriques. D'après les figures 8 et 9 les cartes de synthèse nous ont permis une spatialisation de niveau de risque avant et après la modification des paramètres dans certains quartiers (rénovation du réseau, transfert des eaux du barrage).

3.3. Discussion: fiabilité et validité de la méthode

D'après l'approche indicielle des paramètres de vulnérabilité spatialisés et la mise en œuvre de base de données géo référencées associée à un SIG, les résultats obtenus permettent de visualiser les principales zones à risque de contamination bactériologique de l'eau distribuée dans la ville de Batna avant et après la modification de certains paramètres. Les zones de vulnérabilité élevée sont les quartiers anciens qui rallient la vétusté du réseau, les matériaux des conduites vulnérables. Ainsi que les zones d'urbanisation anarchique non maîtrisable (siège des branchements illicites, non-conformités aux normes techniques, absence de plan de raccordement AEP etc.) La situation de ces quartiers ne permet même pas le contrôle et l'entretien des ouvrages et des réseaux d'eau potable. Les cartes des secteurs urbains touchés par la fièvre typhoïde (Fig. 10, 11) nous ont permis de vérifier la validité de l'approche indicielle des paramètres influant sur le niveau de vulnérabilité. En effet la comparaison avec les cartes de synthèse avant et après la modification de certains paramètres montre clairement que les zones réellement contaminées avant et après 2006 correspondent à celles où les indices de vulnérabilité sont plus élevés.

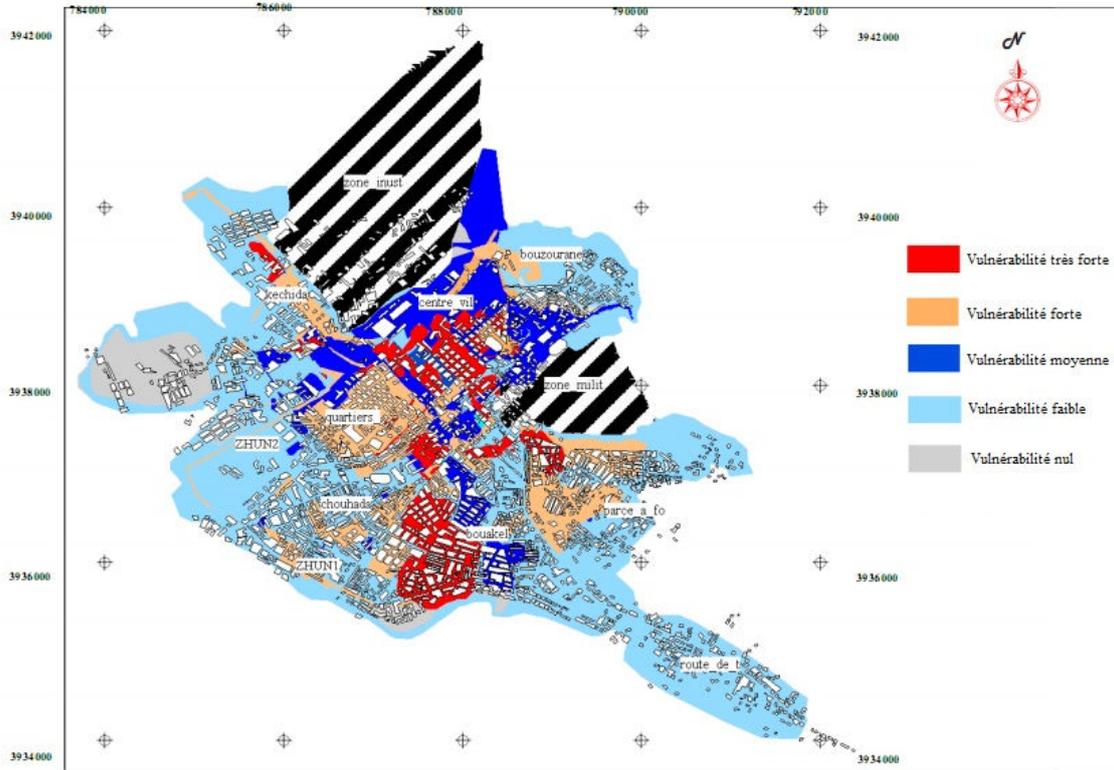


Fig. 8 – Carte de vulnérabilité avant la modification de certains paramètres.

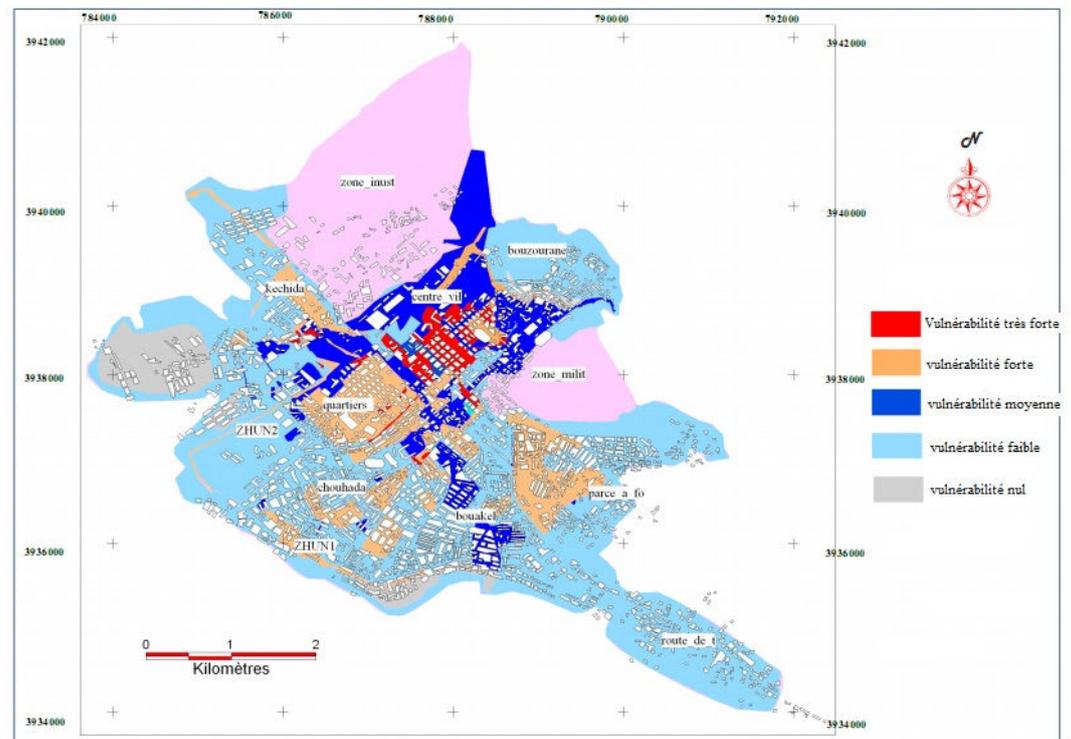


Fig. 9 – Carte de vulnérabilité après la modification de certains paramètres.

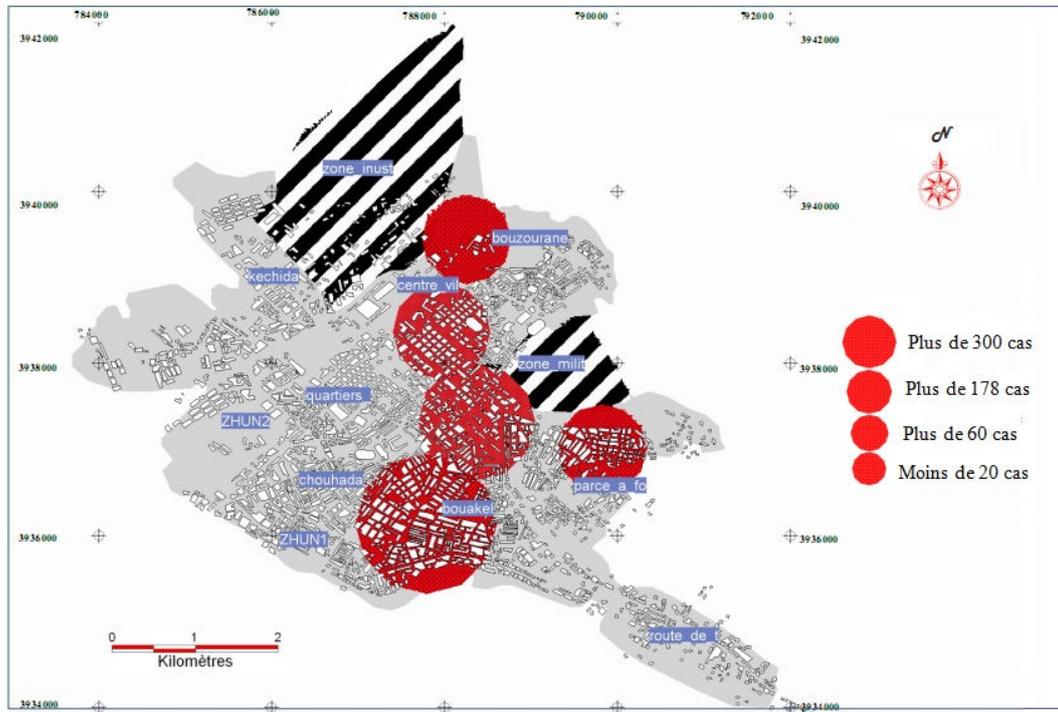


Fig. 10 – Secteurs urbains touchés par la typhoïde dans la ville de Batna (1999–2006).

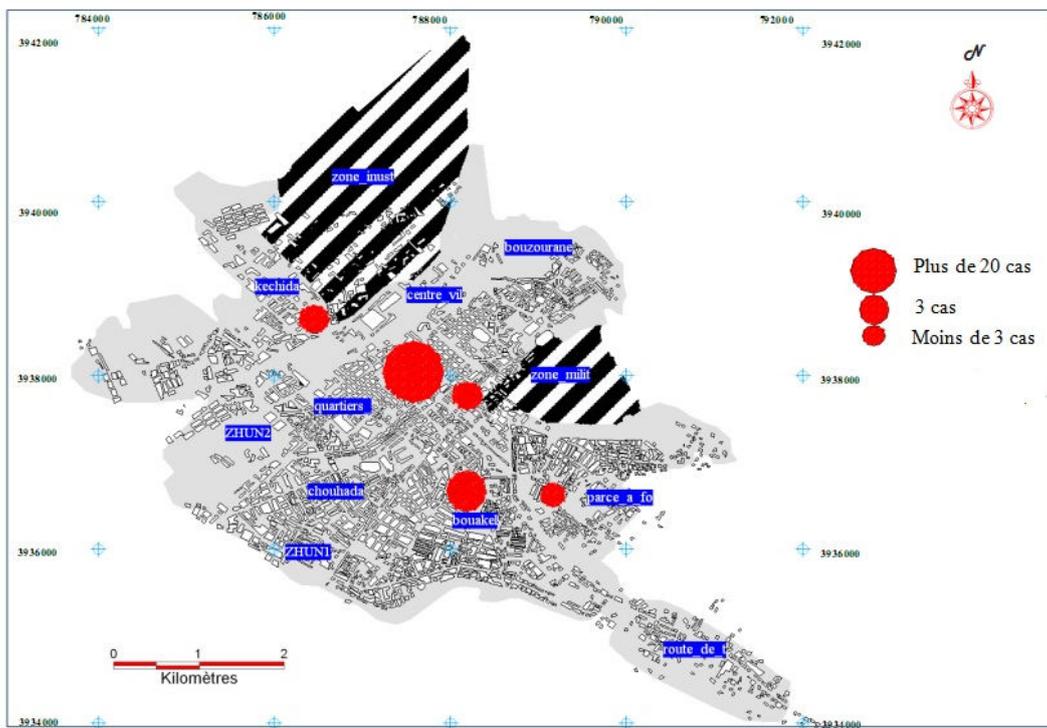


Fig. 11 – Secteurs urbains touchés par la typhoïde dans la ville de Batna (2006–2011).

Le modèle cartographique élaboré a été testé; il reflète la réalité du terrain (Fig. 12). Cette méthode peut être appliquée à tout réseau de distribution de l'eau potable avec une prise de considération des cinq paramètres. Les résultats obtenus doivent contribuer à la protection des zones vulnérables et à la maîtrise des MTH dans un espace urbain et pourront servir à l'élaboration des schémas directeurs d'aménagement urbain concertés.

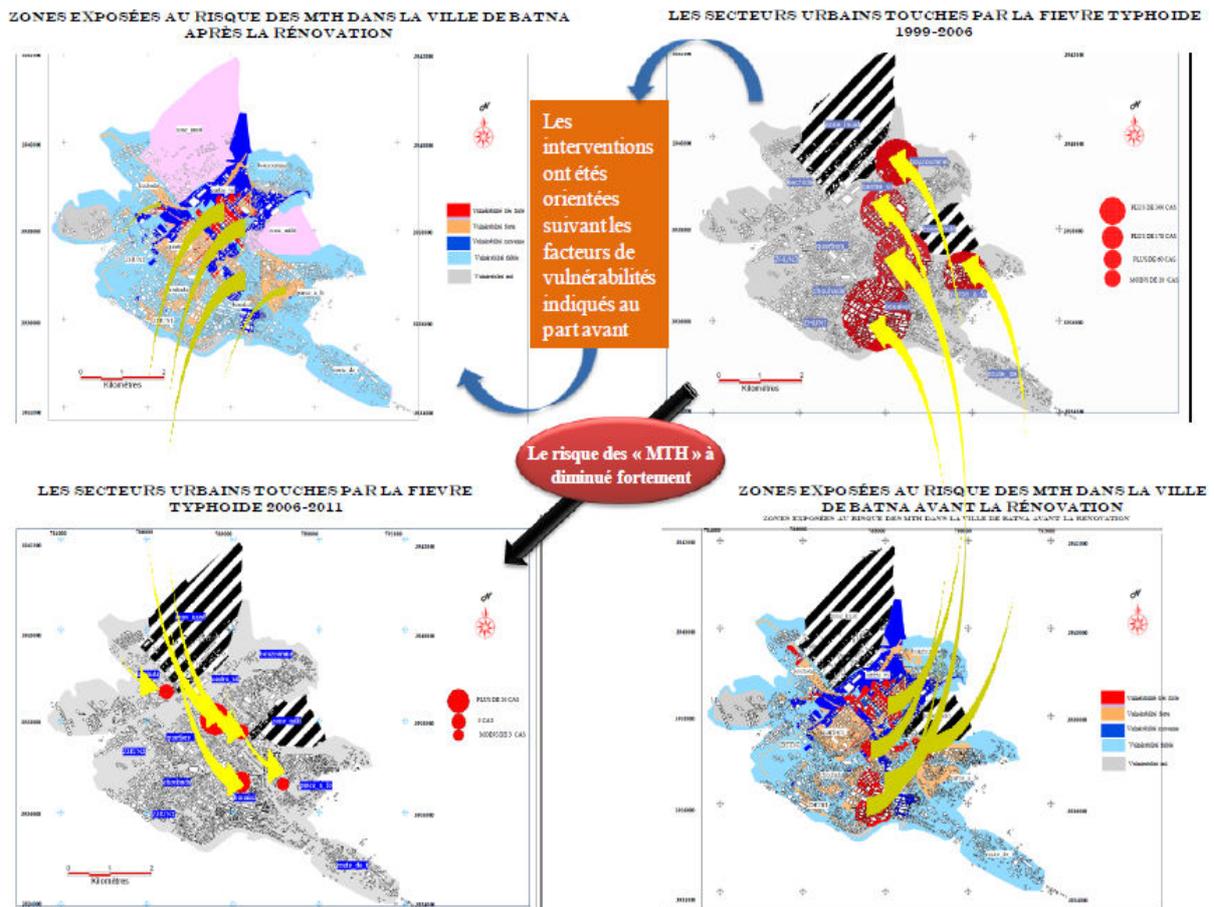


Fig. 12 – Fiabilité et validité de l'approche.

4. CONCLUSIONS

La prévention des maladies à transmission hydrique (MTH) doit rester une priorité dans les stratégies et les politiques de lutte contre ces affections qui pèsent lourdement sur le plan socio-économique. En fin pour des mesures de prévention et une gestion durable de l'eau, l'approche indicielle des paramètres de vulnérabilité et la mise en œuvre de base de données géoréférencées associée à un SIG adéquat s'imposent. Cette méthode peut être appliquée à tout réseau de distribution de l'eau potable en compte des cinq paramètres décrits dans la partie méthode. Dans le SIG chaque paramètre est notée sur une couche en lui affectant une valeur numérique correspondant a son poids, c'est-à-dire son influence sur la vulnérabilité de l'eau à la contamination. Ensuite ces cartes sont superposées sur une couche résultat ou sera calculé l'indice de vulnérabilité. Les différentes cartes éditées peuvent être utilisées comme des outils d'aide à la décision indispensable à la

protection de la source et du consommateur. Par ailleurs la base de données numérique que nous avons élaboré, permettra un suivi spatio- temporel du niveau du risque dans chaque secteur de la ville et dont la nature et l'ampleur préudent à une situation sanitaire et environnementale catastrophique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boukheris, H., Soukehal, A. (2001), *Maladies à transmission hydrique une situation inquiétude* EDIL inf- EAU, **27**.
- Bouziani, M. (2000), *L'eau de pénurie aux maladies* édition Ibn Khaldoun, 247 p.
- Bourouaha, M. et al. (2007), *L'étude de la relation entre habitat précaire et santé publique dans deux quartiers de la ville de Tlemcen en Algérie* Koudia et Ouali Mustapha, *Revue des civilisations*, **18**.
- Charlotte Roudier Daval (2006), *Les maladies parasitaires en milieu urbain. Intérêt et limites de l'analyse spatiale (L'exemple de Mbandjock au Cameroun)*, *Espace, populations, sociétés*, **2-3**, pp. 381-392.
- Mpakam Hernanie Grelle, Kamgang Kabeyene BV, Kouam Kenmogne GR, Tamo Tatietsé T, Bemmo N Ekodeck GE (2006), *Accès à l'eau potable et à l'assainissement dans les villes des pays en développement: Cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun)*, *Vertigo* **7**, 2.
- Propeck Zimmerman, Eliane, Thierrey Saint-Gerand, Emmanuel Bonnet (2009), *Nouvelles approches ergonomiques de la cartographie des risques industriels. Mappemonde*, 96, pp. 13-19.
- Remini, B. (2005), *La problématique de l'eau en Algérie*, O.P.U Alger, 161 p.
- Rodier, J. (1996), *Analyse de l'eau* 8^{ème} édition, Dunod, Paris.
- Rodier, J. (2009), *Analyse de l'eau* 9^{ème} édition Dunod, Paris.
- Samuel, Rufat (2007), *L'estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour gestion du risque*, *Géo carrefour*, **82**, 1-2.

Reçu le 25 mai 2014

