

Citthis: *JOWSET*, 2019 (04), N°01, 465-471

Delimitation of the Protection Perimeters of Dir Springs (El Ksiba-Ouaoumana, High Atlas, Morocco)

Lahcen Alili^{1*}, Ahmed Boukdir¹, Abdelkader Younsi², Brahim Aghazzaf³, Mohamed Rachid Maslouhi³, Elhassan Ben-Said¹

¹ Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultan Moulay Slimane, 23000, Béni Mellal, Maroc

² Laboratoire de l'Eau et d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences d'El Jadida, Université Chouaib Doukkali, B.P. 20, El Jadida 24000, Maroc

³ Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er R'bia, 23000, Béni Mellal, Maroc

*Auteur correspondant : Courriel: aliliqematique@gmail.com Tél. : +212675581621/ +212636853261

The study area is located in the north of the province of Beni Mellal, it covers the Piedmont of the High Atlas between El Ksiba and Ouaoumana. The Jurassic occupies the quasi-totality of geological point of view and staked by springs of flow rates sometimes important. Faced with the increase in water demand and pollution problems, these sources are the subject of this study. The objective of this work is the delineation the protection perimeters (immediate, near and far) of the Dir sources located between El Ksiba and Ouaoumana. These perimeters were delineated based on the multicriteria analysis of multisource data (satellite images, geological, topographic, land cover, inventory of pollution sources, hydrological, hydrogeological and vulnerability). Before delineating the protection perimeters, the vulnerability assessment of the study area was carried out. For this purpose, three categories of vulnerabilities have been highlighted. These are mainly very high, high and moderate to low vulnerabilities, representing respectively the percentages of 21%, 47% and 32%. This approach allows us to delimit three protective perimeters (immediate, near and far), whose surfaces are respectively of the order of 1600 m², 302 Km² and 1094 Km².

Received: 10-november-2018

Accepted: 23 April 2019

Available online 23 April 2019

Keywords:

Vulnerability,
Pollution,
Water Sources,
Protection perimeters,
Far,
El Ksiba and Ouaoumana,
High Atlas.

1. INTRODUCTION

La qualité des ressources en eau du Maroc connaît une dégradation croissante ces dernières années sous l'effet de la présence de foyers de pollution engendrés par des activités anthropiques. Il est devenu, de ce fait, nécessaire de mettre en place des mécanismes et des actions visant la sauvegarde de ces ressources.

En effet, la délimitation des périmètres de protection des ressources en eau est devenue actuellement une obligation réglementaire (Loi 36-15 relative à l'eau). Cependant, cette délimitation autour des captages s'avère difficile puisqu'elle implique la mise en place d'une politique de développement

local cohérente du point de vue gestion de l'eau et d'aménagement du territoire.

Par ailleurs, les périmètres de protection d'une source sont définis généralement à travers des études hydrogéologiques et prescrits par une déclaration d'utilité publique. Ils visent à protéger les abords immédiates de l'ouvrage et son voisinage, ainsi qu'à interdire ou réglementer les activités qui pourraient nuire la qualité des eaux captées.

Cette étude a pour objectif de délimiter les périmètres de protection des sources situées entre El Ksiba et Ouaoumana moyennant une démarche bien appropriée, en application de l'article 17 du décret 2-97-657 relatif à la délimitation des zones de sauvegarde et d'interdiction.

Les sources étudiées sont situées au piémont du Haut Atlas, entre le centre d'El Ksiba et celui d'Ouaoumana. Il s'agit principalement de treize sources dont la plus importante est celle de Tamda. Elles constituent les seules ressources en eau pour l'alimentation quotidienne des populations autochtones, l'abreuvement de leur cheptel et l'irrigation des cultures.

Avant d'exposer et discuter les résultats acquis dans le cadre de ce travail, une présentation géographique, géologique et hydrogéologique de la zone d'étude, s'avère nécessaire.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

L'aire d'étude est située au Nord de la province de Béni Mellal, elle couvre le pied montagneux entre El Ksiba et Ouaoumana. Le Dir, où les sources sont jalonnées, constitue ainsi la zone de transition entre la plaine de Tadla et la montagne du Haut Atlas.

Cette zone est traversée longitudinalement par l'oued d'Oum Er R'Bia et également par la route nationale liant Fès à Béni Mellal, ceci a favorisé un essor démographique important (centres de Ksiba, Zaouiat Ech Cheikh et Ouaoumana) et une intensification des activités socio-économiques (élevage, industrie, tourisme, et carrières). La présente étude a porté sur treize sources dans le Dir qui sont : Tamda, Ouarnfaa, Bouddilite, Ou Abdellah amont, Ou Abdellah aval, Tamescourte, Tiguemate, N'ougziza, Igly, Boullmatene, Ait atmane, Boutmarsite et Ait laaidi (Fig.1).

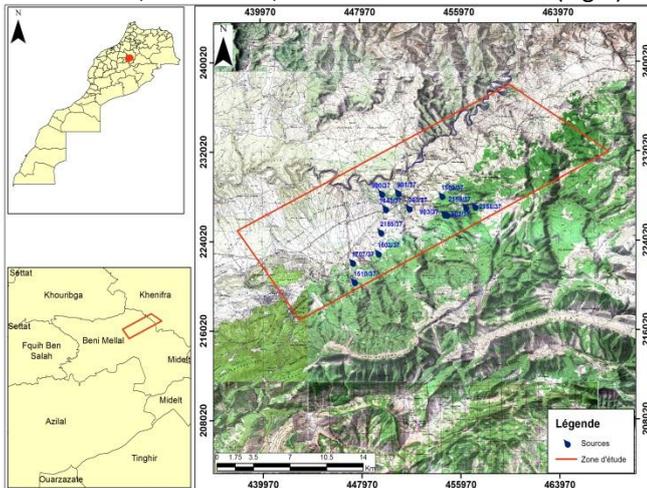


Fig.1. Situation géographique de la zone et sources étudiées.

Est caractérisée par en ce qui concerne le réseau hydrographique, la zone d'étude est drainée par l'oued Oum Er R'bia et par quelques cours d'eau, dont le plus important est l'Oued Ouaoumana à l'Est.

D'un point de vue géologique, l'Atlas de Béni Mellal comporte un anticlinal aplati [1], fracturé (directions principales de fracturation obtenues de la carte géologique et par le traitement des images satellitaires Landsat 8 est N 40-70 et N 150-180, chevauchant vers le Nord-Ouest et reposant sur le Dir. Il comporte des formations liasiques, tertiaires et des travertins plaqués sur le relief (Fig. 2).

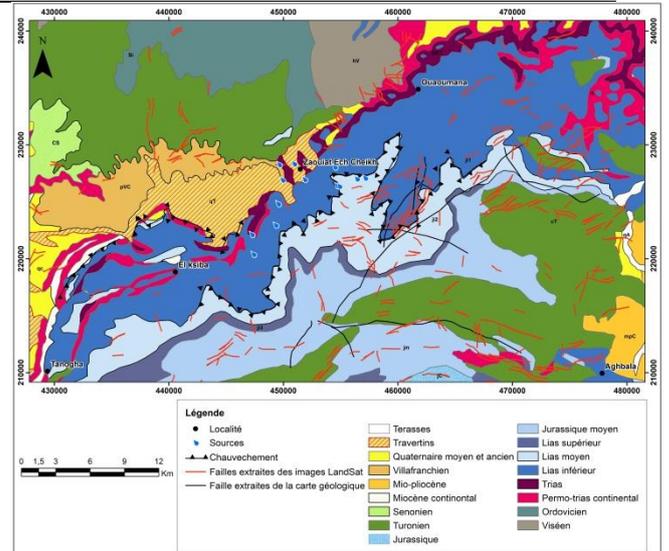


Fig. 2. Carte géologique de la zone d'étude.

Le Trias et le Jurassique constituent l'essentiel des terrains affleurant dans la région étudiée. Le premier forme la semelle des écaïles est représenté par des marnes et argiles rouges à niveaux salifères. Il comprend également des basaltes doléritiques au milieu. Le Lias ou Jurassique inférieur comprend des calcaires et des dolomies massifs. Le Dogger ou Jurassique moyen est essentiellement calcaire tandis que le Jurassique supérieur est une série principalement gréseuse, continentale et de faciès rouge. Le Trias et le Jurassique ont été affectés par des déformations souples et cassantes à l'origine des écaïles d'El Ksiba [2].

Le Lias inférieur constitue la formation géologique la plus dominante à l'échelle de la région étudiée (Fig. 2). Les formations du Trias sont observées localement au nord-est d'El Ksiba, affleurant au niveau de l'Oued Jbboula et en contact avec les formations quaternaires du Tadla. Le Permo-Trias continental est également observé au côté droit de la route nationale allant de Zaouiat Ech Cheikh à Ouaoumana.

Dans les formations carbonatées principalement liasiques, les phénomènes de dissolution ont entraîné l'apparition d'un système complexe de cavités karstiques [3] de taille variable et de forme irrégulière.

Il est à souligner les dolines et les lapiez sont les plus dominants. Les dolines ont des dimensions variant de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, atteignant parfois plus de 300 m de diamètre. Dans la plupart des cas, ces dernières présentent des formes allongées. Globalement ces manifestations géomorphologiques sont associées aux formations du Dogger.

La région de Zaouiat Ech Cheikh montre une forte concentration de dolines de grandes dimensions, c'est là où l'on rencontre des sources de haut débit comme Tamda, Igly et Ouarnfaa. Par contre dans la région d'El Ksiba, nous observons quelques champs de lapiez sur les zones quasi-tabulaires et la dominance des vallées sur le reste de terrain où la pente est relativement élevée. Les dolines y sont comblées de produits d'altération argileux et de fragments calcaires, ce qui entraîne une stagnation

temporaire des eaux météoriques.

Le Quaternaire bien représenté aussi par le quaternaire moyen et ancien formé de travertins et repose en discordance sur les formations de écaillés du Dir.

Sur le plan hydrogéologique, la nappe d'eau souterraine la plus importante de la zone d'étude, circule dans les formations calcaro-dolomitiques, très fissurées et d'âge liasique. En effet, le Lias se comporte comme un karst. La nappe y est principalement libre et les argiles et marnes rouges du Trias constituent le substratum de l'aquifère liasique. Peu de captages, par puits ou forages, ont été réalisés dans la zone d'El Ksiba. L'essentiel des points d'eau est constitué par des sources, même pour l'alimentation en eau potable.

Quant au Dogger (Jurassique moyen), il présente deux niveaux aquifères principaux, correspondant aux deux principales assises calcaires : calcaires aaléniens et calcaires du Dogger supérieur, séparés par un niveau de marnes et de marno-calcaires. Les calcaires sont fissurés avec prédominance de régime turbulent.

Quant au Plio-quaternaire, il présente des aquifères locaux développés dans les formations villafranchiennes du pliocène et dans les travertins du quaternaires ainsi que des aquifères très localisés aux alentours des oueds.

2.2 Collecte des données

Pour une bonne délimitation des périmètres de protection des sources du Dir situées entre El Ksiba et Ououmana, nous avons fait recours aux :

- cartes topographiques : la zone d'étude est couverte par huit cartes topographiques au 1/50000ème qui ont servi à la compréhension de la zone d'étude (localisation, altitude, nomination des cours d'eau principaux, formes géomorphologiques,...) ;
- carte géologique de Rabat au 1/500000ème qui couvre la totalité du bassin des sources ;
- historique des débits des sources utilisés pour calculer les débits classés et de tracer les courbes de récession dont l'objectif est de comprendre le fonctionnement hydrogéologique des sources ;
- images satellitaires LandSat 8 et Google Earth qui sont utilisées pour la cartographie de l'occupation du sol et l'extraction des linéaments ;
- modèle numérique de terrain qui est utilisé pour la détermination de l'altitude et la modélisation des bassins hydrologiques des sources et du réseau hydrographique ;
- réglementation : la loi de l'eau 36-15 relative à l'eau et la loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement, sont utilisées ;
- qualité des sources de 2016 ;
- une enquête sur le terrain a été menée dans le cadre de ce travail, en vue de rassembler le maximum d'informations, notamment celles relatives à l'occupation des sols et aux foyers de pollution existants aux alentours des treize sources étudiées.

La définition des conditions aux limites constitue une étape primordiale de la présente méthode, quoique celle-ci nécessite des données de différentes sources telles que les données isotopiques, géophysiques et spéléologiques. Ces

dernières sont indisponibles pour notre cas, vu le manque total de certaines données et la présence des lacunes dans les autres, d'une part. D'autre part, la complexité de la zone d'étude vis-à-vis des éléments à la fois tectoniques et morphologiques, rend la délimitation précise du bassin difficile. La délimitation de ces limites est effectuée en se basant sur la structure géologique [4-5].

Au niveau des aquifères karstiques, l'eau circule dans les fractures, les pores des roches et dans les conduits résultants de la dissolution des masses carbonatées [6]. L'anisotropie de la conductivité hydraulique ne permet généralement pas de comprendre les écoulements par la méthode adaptée au milieu poreux. La portion de la nappe qui alimente les captages sera donc généralement déterminée sur la base des structures du massif [6].

Les limites obtenues nous permettent une délimitation du bassin d'alimentation des sources étudiées (Fig. 3). Dans la partie sud du bassin, celui-ci est limité par l'accident d'Aghbala-Afourer, le bassin des sources karstiques du complexe calcaire haut atlasien du Dir de Beni Mellal [7] constitue la limite Sud-Ouest, la plaine de Tadla correspond à la limite Nord et le bassin de la Haute Moulouya à l'Est.

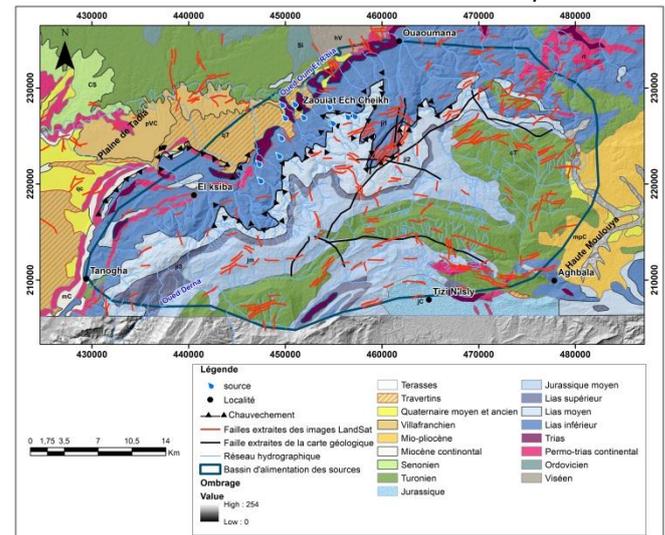


Fig. 3. Carte du bassin d'alimentation des sources étudiées.

2.3 Vulnérabilité

La méthode utilisée pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution et pour délimiter les périmètres de protection des sources, est la méthode EPIK, développée en première fois pour des aquifères karstiques en Suisse [8-9-10-11]. Elle est basée sur 4 critères, à savoir : E (Epikarst), P (Couverture protectrice), I (Conditions d'infiltration) et K (Réseau karstique), avec un système d'indexation pour chacun de ces critères, suivi d'un calcul de pondération à coefficients fixés. Le calcul du facteur de protection F a été effectué selon la formule suivante [8-10-11] :

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l$$

Avec :

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: coefficients de pondération de chacun des critères ;
 E_i, P_j, I_k, K_l : valeur de chacun des critères indexés.

Ces critères sont représentés dans les figures 4, 5, 6 et 7.

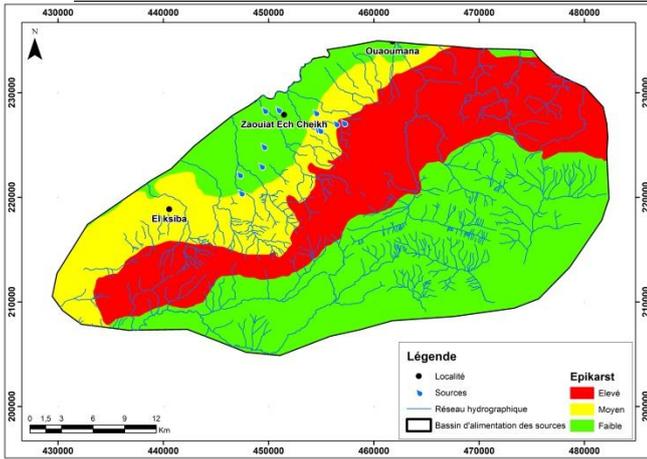


Fig. 4. Carte de l'Epikarst

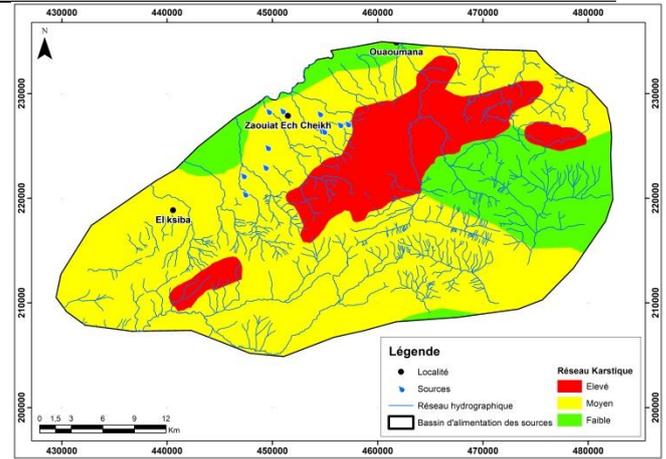


Fig. 7. Carte de Développement du Réseau Karstique

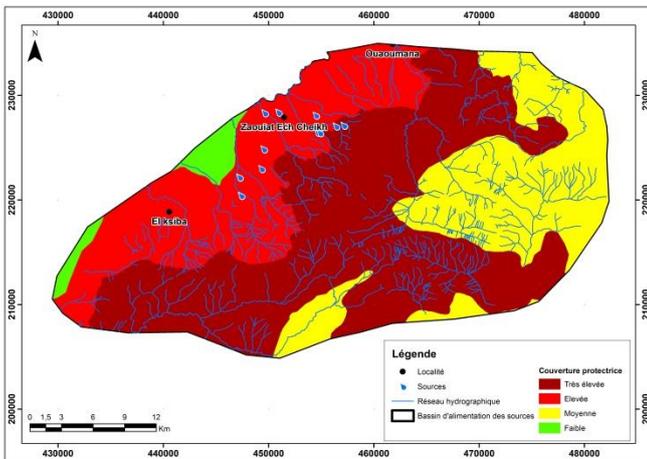


Fig. 5. Carte de la Couverture protectrice

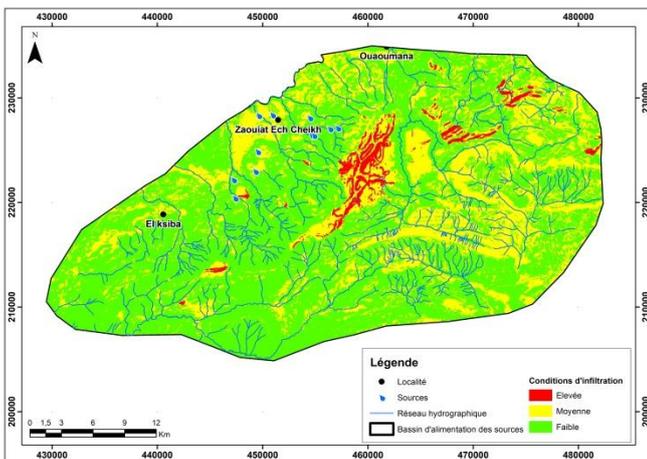


Fig. 6. Carte des Conditions d'Infiltration

Dans le Tab.1, nous avons reporté les coefficients de pondérations affectées. Quant à la Fig. 8, elle présente la carte de synthèse des critères.

Tab. 1. Coefficients de pondération pour la méthode EPIK.

| E | P | I | K |
|----------|---------|----------|----------|
| α | β | γ | δ |
| 3 | 1 | 3 | 2 |

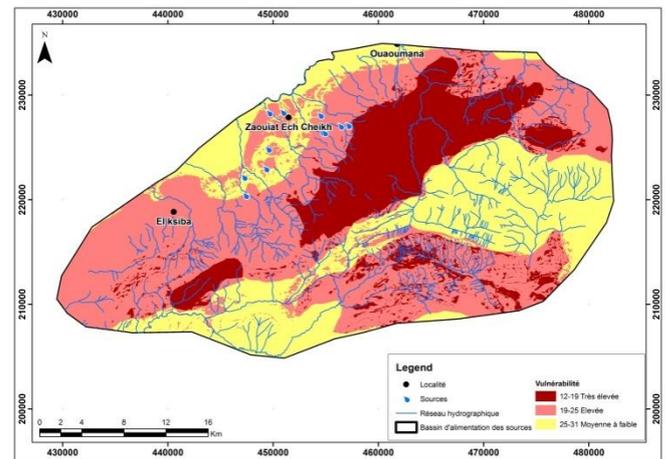


Fig.8. Distribution spatiale du facteur de protection (méthode EPIK)

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Analyse des données collectées

L'étude hydrogéologique de la zone d'étude a permis de comprendre le mécanisme de fonctionnement des différents aquifères de la région. En effet, la région de l'étude recèle Trois aquifères:

- l'aquifère du Lias (Jurassique inférieur) ;
- l'aquifère du Jurassique moyen (Dogger) ;
- l'aquifère du Plio-quaternaire.

Les sources étudiées constituent les manifestations hydrogéologiques à la surface de la zone d'étude, de ces trois aquifères. Elles se sont développées à travers les fractures et les karsts, caractérisant ces terrains aquifères. Les débits classés ont permis d'identifier différents niveaux aquifères karstiques avec possibilité d'existence de niveau

d'Epikarst et des niveaux profonds permettant d'alimenter les niveaux supérieurs et d'assurer une longue durée de décruée des sources.

L'analyse de la piézométrie de la zone à travers principalement le positionnement des sources et le niveau piézométrique de certains captages, montre que l'écoulement de l'eau se fait du Sud vers le Nord.

Les foyers de pollution les plus critiques sont situés principalement dans la zone montagneuse, où l'on trouve d'innombrables carrières. Ces dernières génèrent des quantités importantes d'huiles usagées (opérations de vidanges et autres) et de déchets divers. Ceci présente une menace très significative en matière de contamination des eaux souterraines étudiées et surtout des sources.

Les sources situées à l'entourage de Zaouiat Ech Cheikh sont vulnérables à la pollution vu leur situation à proximité et à l'aval des foyers de pollution notamment des huileries, des eaux usées et agriculture. L'abandon d'un forage au voisinage de cette ville à cause de problème de contamination par les fosses septiques, nous donne un signal d'alerte sur la situation de l'aquifère.

La pollution accidentelle est la moins prévisible au niveau de la zone d'étude, vu qu'elle peut survenir brusquement. La route reliant Zaouiat Ech Cheikh à Naour, est identifiée comme une source potentielle de ce type de pollution.

D'après les mesures bactériologiques des sources effectuées par l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er R'bia en 2016, à part les trois sources de Tamda, Tamescourte et Boutmarsite qui ne présentent aucune contamination biologique, les dix autres sources contiennent des germes, allant de 4 à 62 UFC/100ml d'eau. La carte de vulnérabilité de la figure 8 montre que les valeurs du facteur de protection varient entre 12 et 31. Les secteurs à vulnérabilité très élevée (21%), avec un facteur de protection compris entre 12 et 19, correspondent aux champs de lapiez et aux zones occupées par les dolines et pertes, affectant les calcaires relativement nus du Haut Atlas à la suite d'infiltration diffuse et concentrée. De grandes plages à vulnérabilité élevée (47%), avec un facteur de protection de 20 à 25, correspondent aux zones de passage entre le Haut Atlas et les formations de plio-quatérnaires du Dir où la karstification est moins développée avec une infiltration moins importante vis-à-vis de la pente. Les secteurs les mieux protégés (32%) sont ceux de la plaine, caractérisés par des formations argileuses et marneuses. Le facteur de protection associé à ces zones est de 25 à 31.

3.2 Délimitation des périmètres de protection des sources

L'intégration et l'analyse des différentes données collectées et la carte de la vulnérabilité dans un système d'information géographique, nous permette de délimiter la carte des périmètres de protection des sources du Dir situées entre El Ksiba et Ouaoumana (Fig. 9).

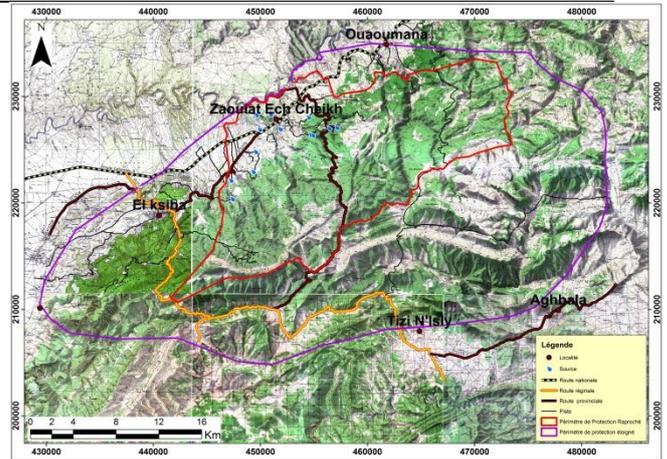


Fig. 9. Périmètres de protection des sources du Dir

Le périmètre de protection immédiate correspond au site de captage. Sa surface est donc très limitée : quelques centaines de mètres carrés. Il est acquis en pleine propriété par le maître d'ouvrage. Clôturé pour éviter toute intrusion, son rôle est d'empêcher la détérioration de l'ouvrage [12] et le déversement de substances polluantes à proximité du lieu de prélèvement. Hormis les opérations d'entretien, aucune activité n'y est permise.

Les dimensions sont de 20 à 30 m autour des captages situés dans un milieu poreux et de 30 à 40 m autour des captages situés dans un milieu fissuré, fracturé ou karstique [13]. Dans la zone d'étude, ces dernières dimensions sont les plus adaptées puisque les sources sont karstiques.

La clôture doit être conçue pour empêcher le passage des hommes et des animaux sauvages ou domestiques (clôture grillagée de type classique 2 m de hauteur) [14]. L'accès au périmètre de protection immédiate doit s'effectuer par un portail d'une hauteur au moins égale à celle de la clôture. Celui-ci doit pouvoir être fermé à clef et permettre le passage des véhicules pour assurer l'entretien du périmètre.

Le périmètre de protection rapproché doit protéger efficacement les sources contre toute pollution notamment de nature bactériologique, et donner une marge de sécurité en termes de temps pour une intervention en cas d'une pollution chimique ou accidentelle. Sa délimitation dépend des caractéristiques de l'aquifère, des débits de captages et de la vulnérabilité de la nappe.

Les conditions hydrogéologiques des sources (aquifères karstiques avec un faible pouvoir épurateur de la nappe) ne permettent pas de fixer la limite de cette zone de protection sur l'isochrone 50 jours (temps de transfert de la pollution au captage retenu). Cette délimitation est réalisée conformément à la méthode EPIK, en se basant sur les résultats de l'étude de vulnérabilité.

Ce périmètre correspond en fait à des périmètres théoriques qui ne tiennent pas compte dans leur délimitation de certaines contraintes administratives et urbanistiques, mais tout simplement de la vulnérabilité de l'aquifère, du fonctionnement des sources. Ces périmètres sont renforcés par le périmètre de protection éloigné.

La délimitation sur le terrain de ces périmètres, dits périmètres pratiques, doit être faite en suivant les lignes d'accès (routes, autoroutes, pistes et servitudes) et toutes les contraintes de terrain, ce qui va faciliter la gestion, le suivi et la surveillance de ces périmètres.

La délimitation du périmètre de protection éloigné reste facultative, mais encouragée. Ce périmètre est créé pour proposer des recommandations si certaines activités non comprises dans le périmètre de protection rapproché sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. En milieu karstique ce périmètre est toujours calé sur les limites du bassin d'alimentation des captages [4-15-16].

CONCLUSION

Cette étude a porté sur la délimitation des périmètres de protection des sources du Dir, situées entre El Ksiba et Ouaoumana (Haut Atlas, Maroc). Elle a combiné plusieurs outils et méthodes de travail, dont nous pouvons citer : hydrologie, géologie, hydrogéologie, réglementation, modèle numérique et méthode EPIK. Plusieurs enquêtes ont été effectuées sur le terrain, pour affiner et actualiser les données sur l'occupation des sols, les foyers de pollution existants au voisinage de ses sources).

Il ressort des études géologique et hydrogéologique de la zone d'étude que les nappes d'eau souterraines les plus importantes de la région étudiée, circulent dans les terrains fissurés et krastifiés du Jurassique inférieur et moyen et du Plio-quatenaire. Les treize sources étudiées constituent les manifestations hydrogéologiques importantes à la surface de la zone d'étude, de ces systèmes aquifères.

Trois catégories de l'indice de vulnérabilité ont été mise en évidence, il s'agit principalement de vulnérabilité très élevée, élevée et modérée à faible et représentent respectivement les pourcentages de 21%, 47% et 32%.

La méthode de délimitation entreprise dans le cadre de ce travail, nous a permis de délimiter trois périmètres de protection différente :

- les périmètres de protection immédiats qui ont été délimités autour de chaque source. Leurs dimensions sont de l'ordre de 40x40 m, soit une superficie de 1600 m² ;
- le périmètre de protection rapproché qui ont été définis, en se basant sur la vulnérabilité des eaux souterraines, la proximité des foyers de pollution et sur la qualité des sources. Leur surface est de l'ordre de 302 Km² ;
- le périmètre de protection éloigné qui correspondent au bassin d'alimentation des sources. Il a été délimité à partir de la structure géologique. Il a une superficie de l'ordre de 1094 Km².

Cette étude se termine par quelques recommandations :

- interdire la circulation d'engins transportant des produits dangereux qui au cas d'accident contaminera sans aucun doute l'aquifère;
- interdire l'installation de tout projet industriel générant des déchets solides et/ou liquides (carrières ou autres);
- interdire le creusement des puits ou forages d'eau sauf pour les ouvrages à usage public;
- contrôler le développement d'habitations qui doivent être moins denses avec une sévère réglementation des systèmes

d'assainissement liquide (fosse septique et puits filtrant, etc.);

- contrôler l'utilisation intensive des engrais et pesticides.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er R'bia et toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. L Bouchaou, P Chauve, J Mudry, J Mania et Y Hsissou. Structure et fonctionnement d'un hydrosystème karstique de montagne sous climat semi-aride: cas de l'Atlas de Beni-Mellal (Maroc). *Journal of African Earth Sciences*. **1997**, Vol. 25, No. 2, 225-236.
2. Office nationale d'électricité de l'eau et potable. Étude d'assainissement de la ville d'El Ksiba. Étude d'assainissement. Mission I, volet d'Etude d'Impact sur l'Environnement, **2003**.
3. K El Khammari, A Najine, M Jaffal, T Aïfa, M Himi, D Vasquez, A Casas et P Andrieux. Imagerie combinée géoélectrique-radar géologique des cavités souterraines de la ville de Zaouit Ech Cheikh (Maroc). *Comptes Rendus Geosciences*. **2007**, 339(7), 460-467.
4. J.F Vernoux, A Willeumier, J.J Seguin et N Doerfliger. Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : Synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Seine-Normandie, rapport BRGM/RP-55332-FR, 128 p., 125 illustrations, 8 annexes, **2007**.
5. J.F Vernoux, A Willeumier, J Perrin. Délimitation des aires d'alimentation de captages d'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du guide méthodologique, rapport BRGM/RP-63311-FR, 133 p., 69 illustrations, 1 annexe, **2014**.
6. T Bussard. Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants. Thèse, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, **2005**.
7. L Bouchaou. Hydrogéologie du bassin des sources karstiques du complexe calcaire haut-atlasien du Dir de Beni Mellal (Maroc). Thèse, Université de Franche Comté Besançon, **1988**.
8. N Doerfliger et F Zwahlen. Cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK). Guide pratique, L'environnement pratique, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, **1998**.
9. R El Bardai, K Targuisti, A Maate, M Maatouk, et J Stitou. Évaluation de la vulnérabilité à la contamination des nappes karstiques des environs de Chaouen (Rif septentrional, Maroc): méthode EPIK. En: Durán, J.J Andreo, B. y Carrasco, F (Eds.). *Karst, cambio climático y aguas subterráneas*. Publicaciones del *Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas. **2006**, 18, 239-247.
10. R El Bardai, K Targuisti, K Aluni. A Contribution of GIS Methods to Assess the Aquifer Vulnerability to Contamination: A Case Study of the Calcareous Dorsal (Northern Rif, Morocco). *Journal of Water Resource and Protection*. **2015**, 7, 485-495.
11. L Alili, A Boukdir, M. R Maslouhi and H Ikhmerdi. Karst groundwater vulnerability mapping to the pollution: Case of Dir springs located between El Ksiba and Ouaoumana (High Atlas, Morocco). *Proceedings, E3S Web of Conferences*, the Sixth International Congress "Water, Waste and Environment" (EDE6-2017), Beni Mellal. **2018**, Volume 37, 01004.
12. M Bakalowicz. Protection des ressources en eau karstique et aménagement et gestion du territoire. *La Houille Blanche*. **2000**, N°7-8, pp. 122-126.
13. A Boukdir. Fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère du Turonien du bassin du Tadra-Plateau des Phosphates-Tassaout aval (Maroc)- approche pluridisciplinaire et étude d'impact. Thèse d'état, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, **2007**.
14. F Durand, V Petit. Guide d'aménagement des captages destinés à l'alimentation en eau potable et des périmètres de protection immédiate. Rapport BRGM 39473, 38p., 1ann, **1997**.

15. A Lallemand Barres et J. C Roux. Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuels et Méthodes. Edition BRGM, 335 p, **1999**.
16. C Catalogne, N Carlier, G Le Henaff et J.F Vernoux. Guide pour la délimitation et la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'aires d'alimentation de captages à transferts mixtes. Rapport final, convention ONEMA-Irstea, 59p, **2014**.