

PaPRIKa, une méthode multicritère de cartographie de la vulnérabilité pour une gestion des ressources et des captages en milieu karstique. Exemples d'application dans le sud-ouest de la France

Nathalie Dörfliger¹, Valérie Plagnes², Konstantina Kavouri³, Stéphane Balayre⁴, Christophe Paris⁵, Philippe Muet⁶, Christophe Subias⁷ et Pierre Marchet⁸.

Introduction

L'eau souterraine des aquifères karstiques constitue une ressource importante pour l'alimentation en eau potable de nombreuses collectivités, tant en Europe qu'en France. Les terrains carbonatés potentiellement karstifiés occupent plus de 30% de la superficie de la France métropolitaine ; ils contribuent à plus de 50% de l'alimentation en eau potable, voire même plus dans certaines régions où les aquifères karstiques sont la seule ressource d'eau douce.

Cependant, ces aquifères sont généralement considérés comme étant particulièrement vulnérables aux contaminations, à cause de leur structure et de leur fonctionnement hydrogéologique singuliers. La structure est caractérisée par une organisation des écoulements souterrains autour d'un système de drainage induisant une hétérogénéité de l'aquifère à toutes les échelles d'observation. Un réseau de conduits hiérarchisés de forte per-

méabilité se développe au sein d'un volume de roche fissurée de faible perméabilité renfermant en général également des cavités avec un grand volume d'eau stockée, connectées au drainage par des zones à fortes pertes de charge. Au niveau de la surface, l'hétérogénéité est associée à des objets géomorphologiques karstiques ainsi qu'à l'existence de conduits verticaux, de fissures au sein de la zone non saturée et de la zone saturée.

La recharge s'effectue selon deux modalités : une infiltration diffuse et une infiltration concentrée au niveau de pertes de cours d'eau, de gouffres, de dolines, de vallées sèches. Le processus de recharge est fortement influencé par la structuration verticale de l'aquifère, en particulier par la présence ou non d'un aquifère épikarstique, défini comme un horizon saturé perché proche de la surface, permettant un stockage temporaire de l'eau au sein d'objets résultants de la dissolution (Bakalowicz, 1999). L'infiltration concentrée induisant un transport rapide sur

1. BRGM, Service EAU, Unité RMD, 1039 rue de Pinville, 34000 Montpellier.

2. UMR Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, cc105, 4 place Jussieu, 75252 Paris.

3. UMR Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, cc105, 4 place Jussieu, 75252 Paris.

4. Calligee Sud-Ouest, Le Prologue 2 - Labège Innopole, BP 2714, 31312 Labège.

5. Ginger Environnement, 117 route de Nexon, BP 885, 87016 Limoges.

6. Ginger Environnement, 117 route de Nexon, BP 885, 87016 Limoges.

7. Calligee Sud-Ouest, Le Prologue 2 - Labège Innopole, BP 2714, 31312 Labège.

8. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Département Prospective, Planification et Evaluation, 90 Rue du Férétra, 31078 Toulouse cedex 4.

de longues distances via les conduits du réseau de drainage karstique confère à ces aquifères une vulnérabilité aux contaminations d'origine anthropique. Par conséquent, ces derniers requièrent une protection spécifique et appropriée afin de pouvoir partager des objectifs d'occupation du sol et d'aménagement ainsi que des objectifs de gestion et de protection durable de la ressource en eau.

Le concept de la cartographie de la vulnérabilité constitue ainsi une base commune pour délimiter des zones où des actions peuvent être mises en œuvre en priorité afin de lutter contre les contaminations diffuses ou ponctuelles et également contribuer à la planification de l'occupation des territoires. Le terme de vulnérabilité a été introduit dans les années 1960 en France, en tant que terme scientifique, par Albinet et Margat (Albinet et Margat, 1970). La définition de la vulnérabilité retenue pour la méthode PaPRIKa est la suivante : la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère vis-à-vis de contaminants représente les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques inhérentes qui déterminent la sensibilité de l'eau souterraine aux contaminations anthropiques au niveau de la ressource et au niveau des captages (source et forage) ; elle est indépendante de la nature des contaminants et des scénarios de contamination (Dörfliger *et al.*, 1999 ; Zwahlen *ed.*, 2004). C'est une propriété relative, non mesurable et sans dimension (Vrba, Zaporozec *eds.*, 1994).

Les deux Agences de l'eau, Rhône-Méditerranée & Corse et Adour-Garonne, particulièrement concernées sur leur territoire par la gestion des aquifères karstiques, se sont engagées ensemble dans une démarche en deux étapes visant à protéger ces ressources : (i) un état des lieux et des premières préconisations, en 2005, sur les procédures de protection des captages d'eau potable en milieu karstique en France (Agence de l'eau RMC 2005 et 2006) ; (ii) la rédaction d'un guide méthodologique recommandant des stratégies pour la protection des ressources en eau dans les secteurs karstiques (publication début 2010) et préconisant l'emploi d'un ensemble de méthodes qui devront par ailleurs connaître une large diffusion⁹. Ces guides sont essentiels aussi bien pour les praticiens (bureaux d'études, hydrogéologues agréés...) que pour les donneurs d'ordre (maîtres d'ouvrage des captages, conseils généraux, services de l'État...), permettant de diffuser une méthodologie commune ainsi que les outils spécifiques à l'hydrogéologie des milieux karstiques, développés au cours des 20 dernières années par les spécialistes.

La rédaction du guide méthodologique PaPRIKa (ONEMA-BRGM), avec la collaboration de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6 (UMR Sisyphe) et de GéosolEau, fait ainsi suite à toute une série de tests de la

méthode RISKE2, en partenariat avec des bureaux d'études et des universités, menés au cours de l'année 2008. Deux exemples d'application sont présentés dans cet article.

La méthode de cartographie de la vulnérabilité PaPRIKa

Aperçu des méthodes de cartographie de la vulnérabilité pour les aquifères karstiques

La première méthode prenant en considération les propriétés spécifiques des aquifères karstiques est la méthode EPIK, développée spécifiquement en 1996 pour les aquifères karstiques suisses dans le but de délimiter des périmètres de protection à partir d'une carte de vulnérabilité (Dörfliger *et al.*, 1999). La méthode prend en compte quatre critères : l'Épikarst (E), la couverture Protectrice (P), les conditions d'Infiltration (I) et le développement du réseau Karstique (K). C'est une méthode multi-paramètres à pondération basée sur la méthode DRASTIC, toujours appliquée en Suisse, où un bilan est actuellement réalisé afin de la faire évoluer. Plusieurs faiblesses de la méthode ont été mises en évidence par de nombreux tests menés lors de l'action COST 620 au niveau européen.

La méthode RISKE a été développée en France, à partir de la méthode EPIK (Petelet-Giraud *et al.*, 2000 ; Dörfliger *et al.*, 2004). Elle comprend cinq paramètres : nature de la Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification et Épikarst. La définition a été précisée afin d'éviter des superpositions entre les différents critères. De plus cette méthode comprend un système de pondération avec l'introduction d'un poids total égal à 100% et un même nombre de classes par critère pour éviter des biais arithmétiques. Dans la méthode EPIK, le critère de l'épikarst était basé sur la cartographie d'objets géologiques tels que des lapiez, des vallées sèches, alors qu'en même temps le critère infiltration considérait les pertes, les dolines et leurs bassins versants. L'épikarst est un critère ambigu : du fait de son comportement hydrogéologique, il peut jouer un rôle de stockage temporaire d'eau infiltrée ou, au contraire, permettre l'infiltration concentrée et rapide d'eau au travers de puits verticaux connectés au réseau de conduits de la zone saturée. La méthode RISKE a évolué ainsi vers RISKE 2 ou RISKE modifiée (Plagnes *et al.*, 2006 ; Pranville *et al.*, 2008), où S et E sont deux critères englobés au sein du critère de protection P. E qualifie la présence ou non d'un épikarst pouvant constituer un aquifère temporaire de stockage en subsurface ; ses caractéristiques physiques et spatiales sont prises en compte. S correspond à l'estimation du rôle protecteur du sol (quand il

9. Guide méthodologique PaPRIKa, édition automne 2009 et guide méthodologique sur les outils pour l'étude des aquifères karstiques, édition janvier 2010.

est présent) vis-à-vis de l'infiltration. Le critère le plus en faveur de la protection est retenu. Les infiltrations concentrées au niveau de pertes, dolines, etc. sont prises en compte dans le critère I et non dans le critère E.

Test et évolution de la méthode RISKE 2 : un partenariat public-privé original

Dans ce contexte, l'Agence de l'eau Adour-Garonne a souhaité contribuer à accélérer le passage d'une méthode encore expérimentale à une méthode standardisée utilisable par des bureaux d'études, en faisant appel à des stagiaires de Master pour effectuer des tests d'application de la méthode RISKE2 dans des contextes hydrogéologiques karstiques variés (calcaires, craies, plateaux, moyenne montagne, etc.), optimiser les modes opératoires et disposer d'exemples variés pour illustrer le guide méthodologique. C'est ainsi que des tests ont été réalisés en 2008 sur neuf sites, six dans le bassin Adour-Garonne et trois dans le bassin Seine-Normandie. Chacune des deux Agences a accueilli elle-même un stagiaire pour tester un site et a apporté une aide financière à différentes structures accueillant les autres stagiaires, contribuant pour moitié à la rémunération de ceux-ci, à leurs frais de déplacement et à quelques jours d'encadrement par le tuteur. Le Parc Naturel Régional des Causses du Quercy et l'Université Pierre et Marie Curie Paris 6, le laboratoire Ghymac (Université de Bordeaux), l'Université de Rouen, le syndicat de Bassin Versant de la Durdent mais aussi les bureaux d'études 2AE, Calligée, Cetra, Ginger Environnement et Infrastructure et SAFEGE ont accueilli et encadré des stagiaires.

Des évolutions méthodologiques ont été nécessaires suite aux tests réalisés. Pour marquer le pas, la méthode RISKE2, dont l'acronyme pouvait prêter à confusion, a été renommée PaPRIKa.

La méthode PaPRIKa

La méthode PaPRIKa est une méthode de cartographie de la vulnérabilité aussi bien de la ressource que du captage au niveau de la source ou d'un forage. Elle comprend deux catégories de critères, des critères associés à la structure de l'aquifère karstique (P et R) et des critères liés au fonctionnement hydrogéologique (I et K). Les critères sont tous subdivisés en 5 classes, à l'exception du critère K qui ne dispose que de 4 classes (absence de valeur 0). La pondération des critères associés à la structure atteint 40%, contre 60% pour celle des critères liés au fonctionnement. L'ensemble de la méthode est décrite en détail dans le guide (Dörfliger *et al.*, 2009). Cette méthode peut s'appliquer pour la protection de la

ressource, afin de délimiter les zones vulnérables sur lesquelles des programmes d'action sont à mener (AAC¹⁰ ou BAC¹¹) et pour servir de base pour la délimitation des périmètres de protection.

L'évaluation de la couverture protectrice (P) repose sur des considérations relatives aux caractéristiques des sols (texture, pierrosité et épaisseur), à la zone non saturée (épaisseur, lithologie et degré de fracturation) et à l'existence ou non d'un aquifère épikarstique. La cartographie croisée de ces critères permet de retenir les valeurs les plus protectrices d'un critère par rapport à un autre. De plus, au sein des bassins versants non karstiques des pertes, le critère P traduit les propriétés des sols et des formations géologiques vis-à-vis du refus à l'infiltration. Sur ces parties non karstiques, le critère P est caractérisé uniquement par cet état de surface et un degré élevé de vulnérabilité est attribué à des formations imperméables telles que des argiles ou des marnes ; un degré de vulnérabilité faible se rapporte à des formations plus perméables telles que des sables ou des conglomérats non consolidés¹².

Le critère R concerne la lithologie et le degré de fracturation (fracturation dans le sens des écoulements) de la zone saturée de l'aquifère. Les conditions d'infiltration (critère I) sont définies à partir des pentes et de la présence d'objets karstiques singuliers permettant une infiltration directe. Le degré de karstification Ka est évalué à partir du degré de karstification résultant de l'analyse de la variabilité des débits, de la composition chimique au niveau de la source ainsi que des vitesses et taux de restitution des essais de traçage artificiels, dans la mesure du possible. En appliquant les pondérations à chaque critère, la carte résultante de la superposition et reclassification en 5 classes des valeurs obtenues est une carte de la vulnérabilité de la ressource, utile pour la définition de zones prioritaires pour établir des programmes d'action dans le cadre des AAC ainsi que pour servir d'outil d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire en ciblant des secteurs pour mener des investigations complémentaires dans le cadre de projets d'aménagement spécifiques.

Afin d'obtenir une carte de la vulnérabilité du captage d'un système karstique, le temps de transit en milieu souterrain est pris en considération comme un facteur additionnel au niveau de la carte du critère I. Des isochrones sont définies, pour des temps d'intervention différents au niveau du captage en cas d'accidents ponctuels, utilisant les données de vitesse des essais de traçage artificiels ainsi que des cartes représentant les conduits karstiques réels ou supposés.

10. Aires d'Alimentation de Captages.

11. Bassins d'Alimentation de Captages.

12. Rappelons qu'il s'agit ici de la vulnérabilité de la ressource karstique située plus en aval et non pas de la vulnérabilité des ressources immédiatement sous-jacentes.

Exemples d'application

L'originalité des deux sites présentés ici (Fig. 1) réside dans le fait que chacun correspond à deux systèmes karstiques distincts (l'un capté pour l'AEP, l'autre non) mais pas forcément bien délimités et pour lesquels les informations disponibles sont très variables.

Application sur les systèmes karstiques de Lenclio et de Bouyssac (Lot)

Ces systèmes karstiques, d'une extension totale de 69 km² (Syndicat Lémance, 2008-2009), sont développés dans les calcaires jurassiques (Kimméridgien inférieur - Oxfordien) du Causse de Thézac-Mauroux, en rive gauche du Lot. Les terrains de couverture sont constitués essentiellement par un ensemble marno-calcaire d'âge kimméridgien supérieur et de quelques recouvrements argilo-sableux crétacés et tertiaires. L'alimentation du système se fait par une infiltration diffuse des eaux à travers la série marno-calcaire et à partir des pertes ponctuelles du ruisseau de la rivière plus au sud (pertes de Gaillard). L'analyse géomorphologique du secteur a d'ailleurs montré le rôle primordial que jouent les formes et formations superficielles (vallons fluvio-karstiques, dolines, vallées sèches...) en concentrant ou en retardant les infiltrations vers le système karstique. Le bassin versant des pertes est occupé par une épaisse couche de formations molassiques quasi imperméables.

La méthode de cartographie PaPRIKa a donc été testée sur deux émergences de ces systèmes binaires, la source de Lenclio, captée pour l'alimentation en eau potable ($Q_{\text{moy}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$) et celle de Bouyssac, non captée.

Le test de PaPRIKa sur ces systèmes a permis d'éva-

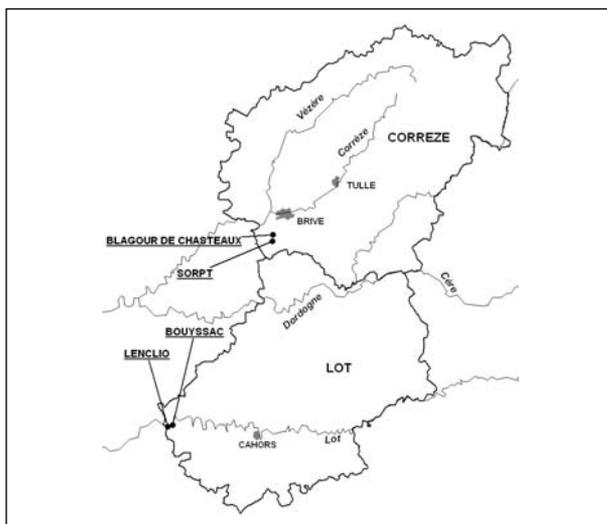


Figure 1. Localisation des sites présentés dans le texte.

luer l'application de la méthode dans le cas d'un bassin en partie seulement sous couverture et en partie non karstique (sous-bassin amont de la perte de Gaillard dans laquelle se perd le cours d'eau Riviérette). Dans ce contexte, la carte qui présente le plus grand intérêt méthodologique est la carte P, qui combine le rôle de protection des formations superficielles et pédologiques, de l'épikarst quand il existe, de la zone non saturée et de l'état de surface pour le bassin d'alimentation de la perte de Gaillard (au sud du bassin).

Cette carte a été réalisée en cinq étapes (Fig. 2) :

- (i) dans le bassin d'alimentation de la perte de la Riviérette (au sud-est), les terrains molassiques assurent un ruissellement très efficace vers la zone de perte ; l'ensemble de ce bassin a donc été classé en P4 ;
- (ii) la reconnaissance de sources perchées dans les calcaires du Kimméridgien supérieur dans la partie nord du bassin témoigne de la présence d'un aquifère épikarstique bien développé et continu ;
- (iii) la zone non saturée (ZNS) est caractérisée par une lithologie variable liée à la structure de ce système et une fracturation importante (ZNS2 ou ZNS3 selon les endroits), voire très importante dans les zones de faille (ZNS4). Son épaisseur est partout supérieure à 50m, à l'exception de la Combe de Bazérac (à l'est) où elle est de plus faible puissance ;
- (iv) la couverture pédologique S est caractérisée par une large gamme d'indices. S1 est attribué à l'épais recouvrement limoneux au niveau de la Combe de Bazénac, aux épais alluvions limoneuses/argileuses de la vallée du Lot ainsi qu'aux terrains molassiques dans la zone méridionale. S2 a été attribué pour les

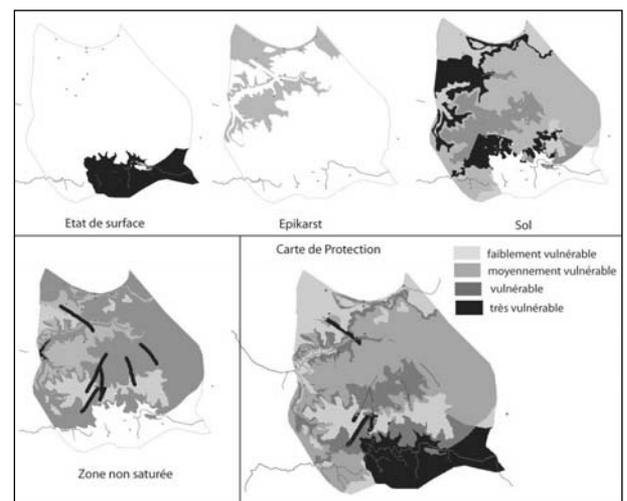


Figure 2. Étapes de construction de la carte P pour le bassin d'alimentation des sources de Lenclio et Bouyssac.

remplissages des dolines, pour les terrains cultivés sur terrains gras et légèrement caillouteux d'épaisseur inférieure à 1 mètre. S3 a été réservé aux zones agricoles situées dans les points hauts du causse (sol de texture grossière et épaisseur comprise entre 20 cm et 1 m). Enfin, de grandes zones sont classées en S4, car leur recouvrement est quasi nul ;

- (v) finalement, l'indice le plus protecteur en chaque pixel est conservé pour établir la carte P.

Les cartes de critères, ainsi que la carte de vulnérabilité de la ressource obtenue pour ce site, sont présentées dans la figure 3. Pour la carte R, le réservoir montre une grande homogénéité lithologique dans les calcaires dolomitiques du Kimméridgien inférieur (calcaires francs en petits et moyens bancs très fracturés), l'ensemble a été classé en R3 et les principaux accidents tectoniques sont classés comme très vulnérables (R4). Pour la carte I : la zone classée I4 dans la partie sud du bassin correspond aux bassins amont des pertes de la Rivière, mais aussi au plateau de Thézac qui renferme une densité importante d'avens et de dolines coalescentes, ce qui a conduit à classer la zone comme « très vulnérable » à l'infiltration. Une carte géomorphologique récente (Bruxelles, 2007) a permis de cartographier les dolines et leurs bassins versants et de les classer en I3 (un regroupement de dolines proches a été réalisé), ainsi que les vallées sèches en I2. Pertes, avens, dolines et vallées sèches ont été combinés à la carte des pentes de façon à réaliser la carte I en conservant l'indice le plus vulnérable en chaque pixel. Pour la carte Ka : le système est binaire, il est caractérisé dans son ensemble par un fort degré de karstification et une fonctionnalité du système avérée (Ka3 homogène sur le bassin).

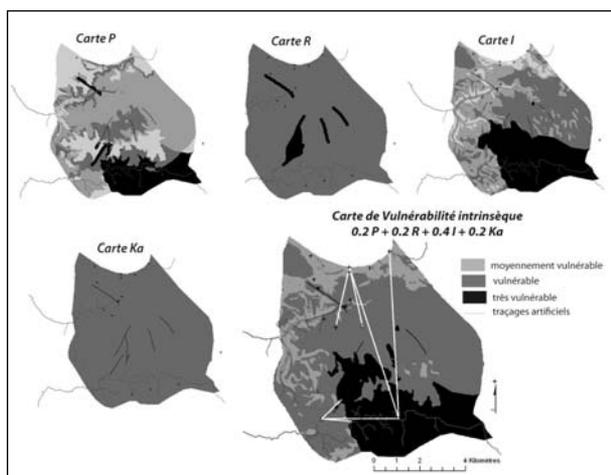


Figure 3. Carte de vulnérabilité ($0,2 P + 0,2 R + 0,4 I + 0,2 K_a$) de la ressource pour le bassin d'alimentation des sources de Lenclio et Bouyssac.

Application sur les systèmes karstiques du Blagour de Chasteaux et du Sorpt (Corrèze)

Ces systèmes karstiques, d'une extension totale de 75 km², sont développés dans les calcaires jurassiques (Bajocien-Bathonien) du Causse de Martel. Leur structure est tabulaire, monoclinale vers le SW. La partie nord-est de leur bassin constitue le bassin versant de la perte de la Couze qui est constitué de grès triasiques, de dolomies et d'argiles de l'Hettangien, ainsi que de calcaires du Sinémurien. Le système du Sorpt est un système unaire et non capté ($Q_{moy} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s}$) ; le système du Blagour de Chasteaux est binaire et capté par deux forages situés dans la vallée d'Entrecors ($Q_{exp} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$). De par le caractère binaire du système et la grande dimension du bassin versant de la perte de la Couze, la construction de la carte de vulnérabilité de la ressource présente un intérêt méthodologique particulier. Les tests réalisés ont montré que dans le bassin amont de la perte, seuls les critères P et I pouvaient être pris en compte pour caractériser la contribution de cette partie du système à la vulnérabilité, alors que pour le bassin karstique proprement dit, les quatre critères ont été considérés (Fig. 4).

Dans la partie karstique, la carte P résulte de la présence d'un aquifère épikarstique bien développé (E1 sur une grande partie du bassin¹³), de l'existence de formations pédologiques variées mais surtout de formations superficielles sidérolithiques très protectrices (S1) et d'une zone non saturée épaisse (> 50 m) mais fracturée au niveau d'accidents tectoniques majeurs (ZNS4 le long de ces fractures). Dans la partie non karstique du bassin, la carte P dépend de la lithologie de surface. La carte R représente avec le même indice (R3) le réservoir, qu'il soit calcaire/dolomitique (Hettangien et Sinémurien) ou uniquement calcaire (Dogger). La présence des failles principales est caractérisée par un

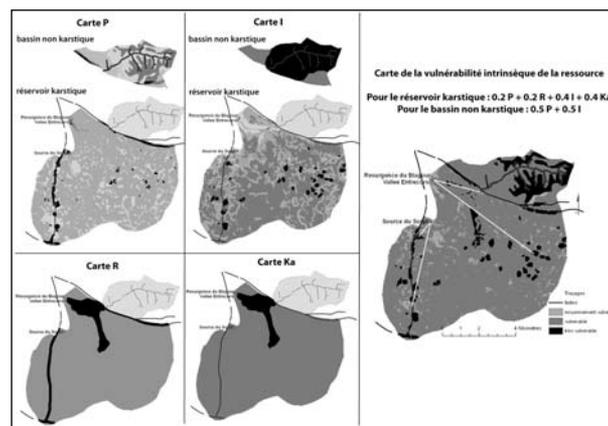


Figure 4. Étapes d'élaboration de la carte de vulnérabilité intrinsèque de la ressource pour les bassins d'alimentation des captages de Blagour de Chasteaux et du Sorpt.

13. Rappelons que dans la méthode PaPRIKa, les critères S et E sont combinés dans le critère P.

indice de vulnérabilité maximum (R₄), de même que les zones où des conduits karstiques sont reconnus. Dans la partie karstique, la carte I met en évidence les bassins amont des pertes (sur les formations sidérolithiques I₄) ainsi que la morphologie karstique très développée de la zone (grand nombre de dolines I₃). L'ensemble du bassin versant de la perte de la Couze est considéré comme très vulnérable vis-à-vis de l'infiltration concentrée, il est classé en I₄. La carte Ka a été construite à partir des résultats des études universitaires antérieures et des données issues des traçages artificiels (Muet, 1985).

Un travail important a également été mené sur le choix de la pondération. Ce travail a abouti à des règles plus strictes où l'indice I, bien que restant prépondérant, ne peut représenter plus de 40 % de la pondération. De plus, la somme des poids des critères de fonctionnement (I et Ka) doit être supérieure à celle des critères de structure (R et P).

La méthode PaPRIKa permet aussi d'estimer la vulnérabilité des captages aux pollutions accidentelles via l'infiltration rapide. La démarche reste identique (cartes R, P et Ka, même pondération) mais la carte I est modifiée en prenant en compte les vitesses de circulation dans le milieu souterrain et en cartographiant des zones dans lesquelles les écoulements correspondent à des temps de transit définis entre 12 et 48 h entre la surface et le captage (ces délais peuvent être traduits en délai d'intervention à choisir en fonction des enjeux et des besoins selon les sites). Lors des tests, ce complément s'est avéré nécessaire pour traduire la vulnérabilité vis-à-vis des pollutions accidentelles. En effet, le temps d'arrivée ainsi que l'étalement de la pollution deviennent prépondérants et doivent être pris en considération. L'ensemble de la démarche est détaillée dans le guide (Dörfliger *et al.*, 2009).

La figure 5 montre deux cartes de vulnérabilité intrinsèque des sources et forages du site ainsi que les nouvelles cartes I_{captage}¹⁴ correspondant aux délais de 12 h et 48 h testés. Plus le délai d'intervention est important, plus les secteurs vulnérables sont étendus le long des directions d'écoulement principales mises en évidence par les essais de traçage et le long de conduits reconnus partiellement ou présumés. Les zones situées au-dessus de conduits karstiques supposés ou reconnus apparaissent aussi très vulnérables quelle que soit l'isochrone considérée. En effet, cette forte vulnérabilité est liée à des zones de R₄ et Ka₄, le passage de la carte I à la carte I_{captage} (un peu plus vulnérable dans ce secteur) permet à cette très forte vulnérabilité de s'exprimer. Les périmètres de protection concerneront le captage et les zones de forte vulnérabilité au droit des conduits karstiques reconnus ou supposés, le reste du bassin pouvant se rapporter au périmètre de protection éloignée.

Conclusion et perspectives

La méthode PaPRIKa est le résultat d'améliorations conséquentes des méthodes de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques, considérant d'une part les travaux européens et d'autre part les nombreux tests réalisés sur le territoire français. Ces tests ont permis d'aboutir à une méthode standardisée de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource et de la source pour les aquifères karstiques. PaPRIKa est ainsi une méthodologie basée sur les spécificités de l'aquifère karstique, tant du point de vue de leur structure que de leur fonctionnement, nécessitant des observations de terrain et d'interprétation à partir de données géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques.

Cette cartographie est indispensable à l'élaboration d'une carte de risques (croisement de la carte de l'aléa et de la vulnérabilité), constituant elle-même une aide à la décision quant à la mise en place des mesures de protection et notamment dans le cas de la délimitation réglementaire des zones de protection au sein des aires d'alimentation (article 21 de la LEMA et décret). La méthode PaPRIKa est décrite de manière détaillée dans un guide disponible sur le site internet du BRGM (rapports publics). L'évaluation de la vulnérabilité nécessite d'être fiable ; afin d'éviter toute subjectivité, une validation des cartes obtenues doit être entreprise après vérification sur le terrain de la traduction de la combinaison des différents critères, soit à l'aide d'essais de traçages artificiels, soit à l'aide d'interprétation de traceurs intégrateurs tels que les nitrates.

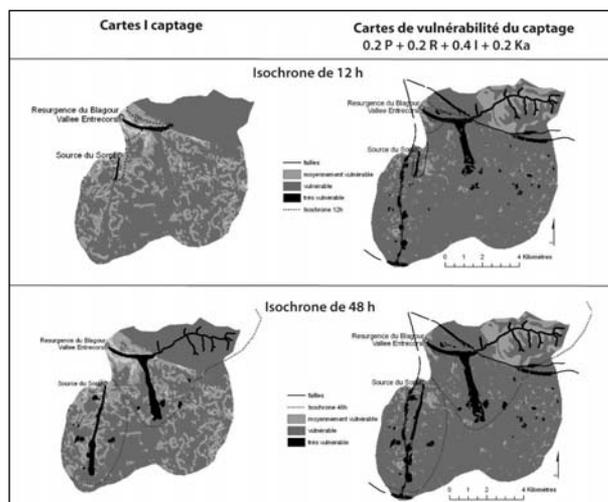


Figure 5. Cartes de vulnérabilité intrinsèque de la source ou des captages du système karstique du Blagour de Chasteaux.

14. Adaptation du critère I aux besoins des périmètres de protection réglementaires.

Remerciements

Ce travail est le résultat d'une contribution à un projet cofinancé par l'ONEMA et par le BRGM dans le cadre de ses actions de service public pour le ministère en charge de l'environnement. Les auteurs remercient les stagiaires et leurs encadrants qui ont participé aux tests ainsi qu'aux réunions au cours desquelles les échanges ont été nombreux et ont permis d'aboutir à une méthodologie standardisée utilisable par les bureaux d'études. Ils remercient également les autres animateurs du groupe de travail à savoir L. Cadilhac (AERM&C), D. Humbert (AESN), Ph. Crochet (ANTEA), Jérôme Gouin (GeosolEau) et Paul-Henri Mondain (CALLIGEE) pour leurs nombreux commentaires et suggestions sans lesquels PaPRIKa ne serait pas ce qu'elle est.

Les stagiaires Vincent Prevost et Jessy Jaunat, ainsi que Frédéric Huneau (enseignant-chercheur au laboratoire Ghymac - Université de Bordeaux) ont également contribué à relire et améliorer cet article.

Références

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse, 2005 : Bilan et analyse de la mise en œuvre des procédures de protection des captages AEP en milieu karstique. Rapport final : Synthèse des phases 1, 2 et 3, 106 p.
- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse, 2006 : Bilan et analyse de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP en milieu karstique. Synthèse des préconisations en faveur de l'amélioration des démarches de protection, 28 p. (www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau/preserver-leau-destinee-a-la-consommation-humaine.html).
- Albinet M. et Margat J., 1970 : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bulletin du BRGM (deuxième série), III(4), 13-22.
- Bakalowicz M., 1999 : Guide Technique n°3 Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, 44 p. (<http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-tech-3.pdf>).
- Dörfliger N., Jeannin P.-Y., Zwahlen F., 1999 : Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). Environ. Geol. 39 (2), 165-176.
- Dörfliger N., Plagnes V., avec la collaboration de Kavouri K., Gouin J., 2009 : Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques, guide méthodologique de la méthode PaPRIKa. Rapport BRGM RP-57527-FR, 100 p.
- Dörfliger N., Jauffert D., Loubier S., Petit V., 2004 : Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche-Comté. Rapport final BRGM/RP-53576-FR.

- Muet P., 1985 : Structure, fonctionnement et évolution de deux systèmes aquifères karstiques du nord du Causse de Martel (Corrèze). Thèse de 3^e cycle. Université d'Orléans.
- Petelet-Giraud E., Dörfliger N., Crochet P., 2000 : RISKE : méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Applications aux systèmes des Fontanilles et Cent-Fonts (Hérault). Hydrogéologie, 4, 71-88.
- Plagnes V., Théry S., Bakalowicz M., Fontaine L., Dörfliger N., 2006 : Cartographie de la vulnérabilité des karsts, évolution de la méthode RISKE, Colloque Rouen, 2006.
- Pranville J., Plagnes V., Rejiba F., Trémoulet J., 2008 : Cartographie de la vulnérabilité sur la partie sud du Causse de Gramat : application de la méthode RISKE 2. "Géologues", 156, 44-47.
- Syndicat des eaux de la Lémance, 2008-2009 : Études préalables aux périmètres de protection de la source captée de Lenclio. Rapports CALLIGEE To8-34101 phase 1 et To9-34101 phase 2.
- Vrba J., Zaporozec A. (eds), 1994 : Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International association of hydrogeologists. Heise, Hannover.
- Zwahlen F. (ed), 2004 : Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final report of COST Action 620. European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, Brussels. (<http://www.unine.ch/chyn/pdf/FinalReportCOST620.pdf>).



FONCIER ENVIRONNEMENT CONSEIL (F.E.C.)

Ingénieur géologue indépendant

(20 ans d'expérience)

aide les entreprises de carrières et du BTP pour :

- la prospection de nouveaux sites
(extraction de granulats ou de pierres diverses,
centre de valorisation ou de stockage
de matériaux inertes...)
- l'obtention des autorisations nécessaires
(propriétaires fonciers, élus, administrations...)

Contact : 06.24.00.87.81

E-mail : laurent.balmelle@wanadoo.fr

Site : www.f-e-conseil.fr