

Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du causse de Gramat (Lot-46)



D. Kavouri^{1,2}, J. Pranville¹, J. Trémoulet², V. Plagnes¹, F. Rejiba¹

¹ Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, (UMR 7619 Sisyphé)

² Parc naturel régional des Causses du Quercy

Cette étude globale démarrée en février 2007 s'est déroulée au sein du Parc naturel régional des Causses du Quercy (PnrCQ). Pilotée par l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), le PnrCQ et l'Agence de l'eau Adour-Garonne le principal financeur, l'étude a été réalisée en deux phases dans le cadre de deux stages universitaires successifs. En effet, la cartographie de la bordure méridionale du Causse de Gramat (Pranville et al. 2007) a précédée celle de la bordure septentrionale (Kavouri, 2008). Les cartes finales de vulnérabilité intrinsèque qui ont été produites doivent être fournies en tant qu'outils préalables à la procédure de mise en œuvre des périmètres de protection des zones de captage.

Le Causse de Gramat est situé sur la marge Sud-ouest du Massif Central. Il fait partie des Causses du Quercy avec le Causse de Martel, le Causse de Limogne et le Causse de St Chels. La zone d'étude est partagée sur les bassins versants du Lot et de la Dordogne (Figure 1).

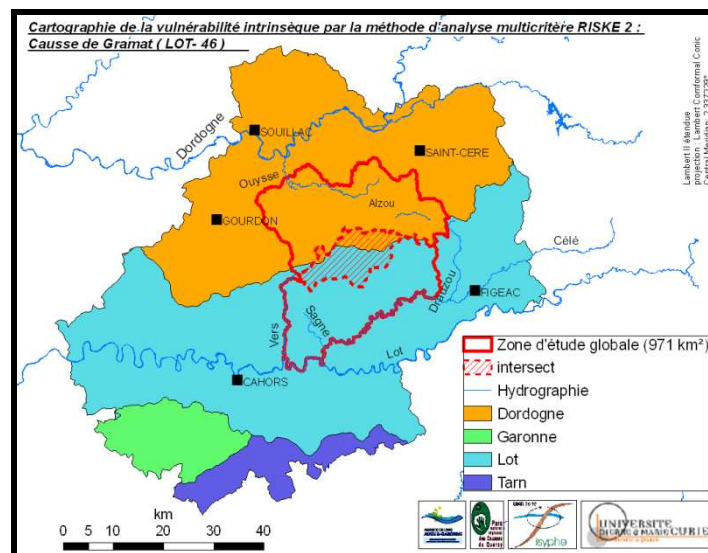


Figure 1 - Contexte de la cartographie de la vulnérabilité du Causse de Gramat

L'objectif de cette contribution consiste à décrire et discuter les différentes façons de représenter la vulnérabilité des zones non karstiques en amont des pertes.

Contextes géologique et hydrogéologique

La zone d'étude est vaste et présente des contrastes de paysages entre la partie nord et la partie sud. La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque a nécessité des prospections de terrain avec notamment quelques 900 points géoréférencés au moyen d'un GPS (Figure 2). L'approche utilisée pour cette cartographie de la vulnérabilité intrinsèque est l'application d'une méthode multicritère avec un système d'indexation et de pondérations des critères. La méthode utilisée est PaPRIKa (ex méthode RISKE 2 ; Dörflioger et al. 2004 ; Plagnes et al. 2005, Pranville et al. 2008).

Le Causse est constitué par une série carbonatée du Jurassique et a subi une érosion importante. Seulement quelques dépôts du Crétacé affleurent encore à l'Ouest, tandis que l'amont à l'Est est constitué par des formations d'âges triasique et permien (Astruc et al. 1994). La zone d'étude

comprend cette zone amont qui alimente en grande partie les zones de pertes situées au contact des calcaires aalénien et des marnes toarciennes (Figure 2).

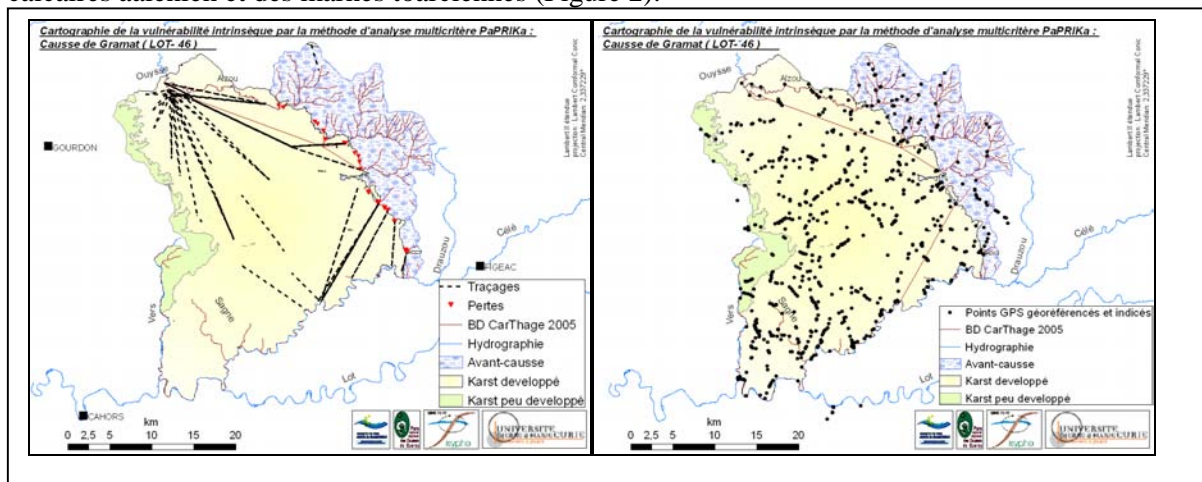


Figure 2 - Hydrogéologie simplifiée de la zone d'étude et distribution des points d'acquisition géoréférencés

Nous observons un réseau de surface développé, intégré dans la BD Carthage 2005, qui s'étend sur la zone amont du Causse de Gramat (figure 2). Les traçages et notamment les plus récents (Calligee, PnRCQ en cours) sont représentés sur la figure 2 et montrent alors l'étendue du réseau souterrain. Ils montrent aussi la possibilité de définir avec encore plus de précision la « ligne » (ou la zone) de séparation des eaux du Lot et de la Dordogne.

Réflexion méthodologique

Pour mieux cibler les zones d'actions prioritaires dans le cadre de la stratégie de protection des zones de captages, la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque doit permettre d'établir une hiérarchisation des zones très fortement à faiblement sensibles à l'infiltration des eaux rejoignant la ressource et donc les sources captées.

La méthode multicritère PaPRIKa renomme la méthode RISKE 2 basée initialement sur l'acronyme RISKE (Petelet et al. 2000). PaPRIKa est une méthode pour la **P**rotection des **a**quifères qui nécessite d'acquérir par des sources bibliographiques et par des investigations de terrain des données intrinsèques au milieu concernant la **P**rotection prise en charge par les sols et l'épikarst, la roche **R**éservoir, les modalités d'**I**nfiltration à travers les pentes et les morphologies de surface et ainsi que l'état de **K**arstification du système concerné.

In situ, l'observation directe permet de décrire et de mesurer la nature et l'épaisseur des sols qui recouvrent la roche. On peut également observer et reconnaître les roches affleurantes et en fonction de la qualité des affleurements caractériser la fracturation qui les affecte. Dans notre cas, le pendage régional est favorable à ce que toute la série carbonatée constituant le karst soit observable d'Est en Ouest, avec une spatialisation des données intéressante. Pour l'essentiel des connaissances liées à la géomorphologie, il est possible de repérer les morphologies particulières afin de dissocier les plus développées des plus communes et de vérifier l'état de surface qui dans certaines configurations peut court-circuiter le rôle des pentes (analyse des MNT à 50 m et/ou 25m). Ce type de configuration peut notamment prêter à discussions lorsqu'il s'agit de cartographier et d'analyser spatialement les bassins d'alimentations de pertes, gouffres ou dolines.

Le cas qui nous intéresse de traiter ici est celui des bassins d'alimentations des pertes jonchant précisément la bordure orientale du Causse de Gramat. Ces points d'infiltration directe drainent effectivement les bassins versant amont où l'hydrographie de surface est marquée. Plusieurs façons de traiter ces zones sont discutées ici et seront présentées sur le terrain. On peut cartographier uniformément ces zones d'alimentation d'un indice I4 signalant la zone très fortement vulnérable par

l'intermédiaire du transfert latéral des eaux de surface vers des points d'absorption préférentielle connectés directement avec la ressource. Mais on peut aussi appliquer la méthode préconisée aux prises d'eau de surface à ces zones amont.

Nous allons exposer les aspects de la cartographie de la vulnérabilité pris en charge par les critères R et I dans le cas des zones amont.

Critère R : Réservoir

Le renseignement du critère R est basé sur deux paramètres : la lithologie et la fracturation. Les calcaires affleurant sur le causse sont en général très fracturés et sont généralement caractérisés comme très fortement vulnérables (R_4), contrairement aux formations marno-calcaires du Kimméridgien Supérieur à l'Ouest du bassin qui sont indicés en vulnérabilité moyenne (R_2 , vallée du Vers).



Figure 3 - Formations fracturées dans une carrière en bordure de la D653, indexation en R_4 .

Ces illustrations (Figure 3) montrent la fracturation ainsi que la décompression de subsurface qui affectent l'Oxfordien, se situant à l'affleurement dans une carrière localisée sur la route de Coursac (D653). On observe également une « cheminée » de remplissage paléokarstiques.

Dans l'impluvium non karstique du Causse, les formations argileuses et métamorphiques du Limargue et Ségala (zones amont du Causse) induisent un fonctionnement hydrologique inverse à celui des formations carbonatées. Une indexation inverse du critère R a été testée. Ainsi, elles sont indicées en très forte vulnérabilité (R_4) en tant que formations imperméables favorisant alors le ruissellement Et le transfert latéral des eaux de surface vers des points d'infiltration directe via des pertes fonctionnelles. Cette cartographie inverse de R dans les zones amont de pertes a donné des résultats satisfaisant sur l'ensemble de la zone d'étude.

Critère I : Infiltration

La figure 5a montre le réseau hydrographique de surface en amont des pertes qui jonchent la partie nord du Causse de Gramat. La figure 4 représente la perte terminale de Théminettes.

- D'après la méthode PaPRIKa, les points d'infiltration concentrée sont de vulnérabilité très forte I_4 , car ils permettent une infiltration rapide des eaux de surface vers l'aquifère. Cet indice est aussi attribué sur l'ensemble des bassins qui les alimentent (Figure 5b) pour le critère I (Kavouri, 2008).
- Vu la taille très étendue des bassins d'alimentation des pertes dans la partie Est du causse de Gramat, nous avons testé dans cette zone différentes approches cartographiques, guidées par les stratégies des prises d'eau de surface (SAUNIER-TECHNA 1999). Un premier test a été appliqué en classant une zone tampon de 50m autour des cours d'eau pérennes (BD Carthage) en vulnérabilité très forte I_4 . Le reste du bassin a été caractérisé selon les classes des pentes en lui attribuant une indexation inverse (plus vulnérable quand la pente est plus forte, Figure 5c).
- Un deuxième test a été effectué en prenant en compte deux paramètres : -(1) une distance radiale à la perte avec une zone de proximité immédiate correspondant à un temps de transfert de 2h dans le cours d'eau en amont de la perte et une zone de proximité secondaire correspondant au reste de la zone ; -(2) une distance tampon de 50 m autour des cours d'eau et talwegs principaux (Figure 5d). L'indice de la vulnérabilité attribué suit une logique de gradient décroissant lorsqu'on s'éloigne des pertes : très forte avec I_4 pour les zones d'écoulement en proximité immédiate des pertes, forte avec I_3 pour le reste de la zone de

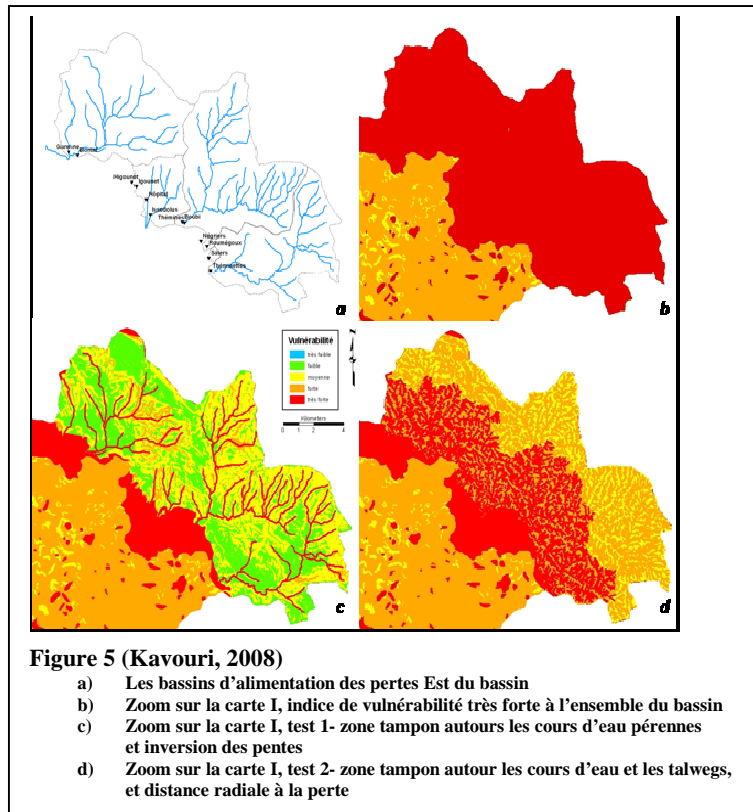
proximité immédiate et pour les cours d'eau et les talwegs de la zone de proximité secondaire et moyenne avec I_2 pour le reste de cette zone.



Figure 4 Une perte de Thémurette



Figure 6 - Perte d'Assier



Pour la partie méridionale du Causse de Gramat, différents tests ont aussi été effectués pour rendre compte de la vulnérabilité de la zone amont alimentant les pertes pérennes et notamment celle d'Assier (Figure 6). Ces tests ont consisté à comparer la prise en compte du critère I dans ces zones en amont des pertes (ou son équivalent) par différentes méthodes européennes, en particulier les méthodes EPIK (Dörflinger 1996), COP (Viàs 2000) et PI (Goldsheider 2002). Effectivement, ces méthodes présentent des approches différentes concernant ces zones d'apport en eau du karst via le transfert latéral des eaux de surface. Les facteurs en jeu peuvent être :

- la distance radiale à la perte (plusieurs intervalles),
- la distance tampon aux cours d'eaux principaux (plusieurs intervalles),
- les pentes,
- l'occupation des sols (forêt, culture, prairies...),
- l'état de surface et sa réponse hydrologique,
- la conductivité hydraulique des formations de sols en subsurface,
- la présence de végétation ou non.

La figure 7 montre les étapes de la construction de la carte I de la méthode PI. L'étape de la carte Iscm (surface catchment map) consiste à faire apparaître les zones préférentiellement vulnérables au sein des bassins d'alimentation de pertes, en fonction des pentes et de la distance aux cours d'eau. La carte I' consiste à intégrer les propriétés hydrodynamiques des sols présents en subsurface, l'occupation des sols et l'état de surface lié à sa réponse hydrologique. La carte I est la combinaison de ces deux précédentes cartes.

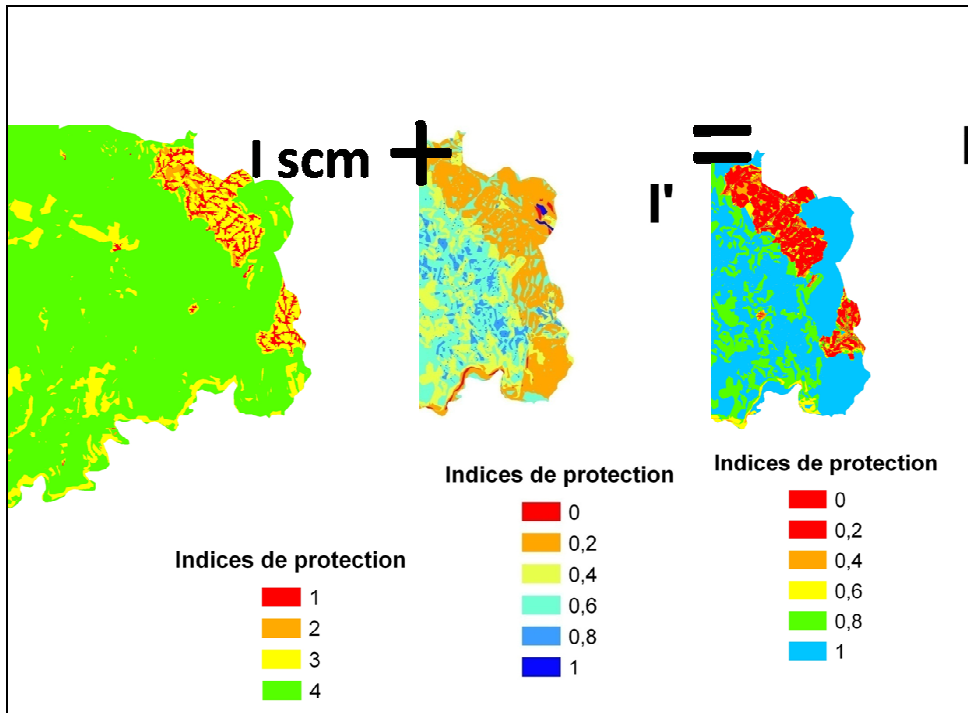


Figure 7 - Etape de construction de la carte I de la méthode PI

Pour la méthode COP, le paramètre C (pour « concentration of flow ») est l'équivalent de notre critère I. La carte C résulte d'un calcul croisant les cartes de sols et pentes, de la distance au cours d'eau principal, et des zones concentriques autour des pertes (Figure 8).

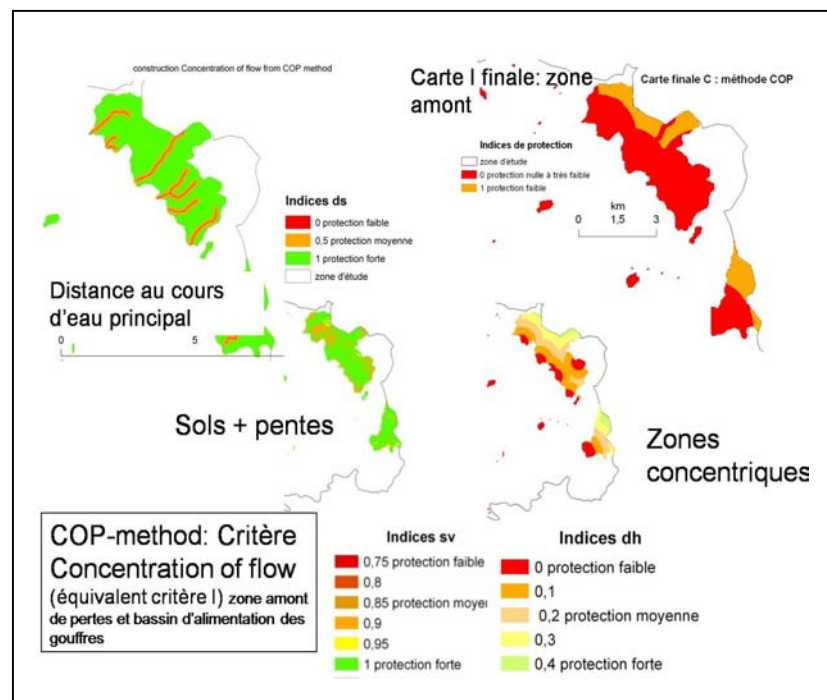


Figure 8 - Exemples d'interprétation de la zone amont des pertes par la méthode COP

Pour ces méthodes testées, les calculs d'analyses à réaliser sous SIG présentent souvent des grilles d'applications compliquées pour l'utilisateur. D'autre part, ces applications nécessitent un grand nombre de données étant donné les facteurs pris en compte dans cette analyse.

Quant à la méthode EPIK (Figure 9), elle décrit ces zones amont qui alimentent les pertes en considérant les pentes, l'occupation des sols et la distance aux cours d'eau principaux.

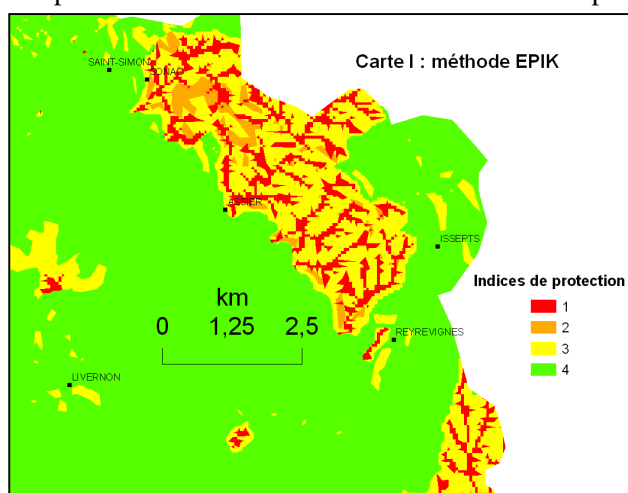


Figure 9 - Carte I de la méthode EPIK

Le lecteur est renvoyé au rapport de Pranville (2007) pour les cartes finales de vulnérabilité obtenues avec ces différentes méthodes.

La carte du critère éditée avec la méthode PaPRIKa (Figure 10) montre une vulnérabilité homogène très forte sur les bassins d'alimentations des pertes qui jonchent la bordure du Causse de Gramat. Effectivement, les eaux de ruissellement sont drainées vers la ressource via les pertes.

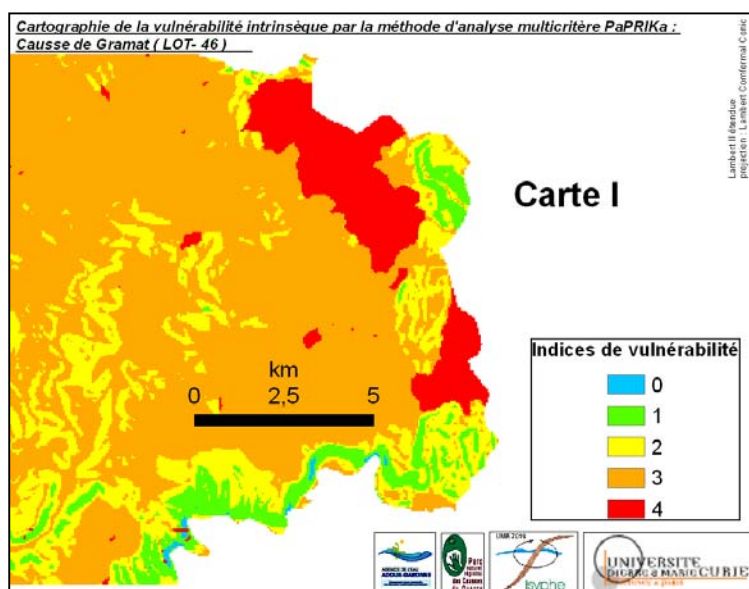


Figure 10 - Carte de vulnérabilité du critère I sur la zone amont avec la méthode PaPRIKa

Conclusion

Le poids du critère Infiltration reste important pour la construction de la carte finale. Pour cela la discussion concernant la distribution des indices de vulnérabilité au sein des zones amont de pertes présente un enjeu certain. L'objectif y est de décrire la vulnérabilité intrinsèque à l'infiltration vers la ressource et les sources cibles. Deux hypothèses se détachent pour cartographier ces zones d'alimentation du karst :

- l'une étant de caractériser globalement ces zones comme très vulnérables vis-à-vis du critère I, cette approche reste en accord avec le principe de précaution.
- l'autre préconiserait de rechercher une hiérarchisation des bassins d'alimentations en discriminant les zones proches des pertes et des cours d'eau des zones plus en retrait où les modalités de ruissellement de surface seraient défavorables à l'infiltration verticale via les pertes.

Le risque réel de nuisance sur la qualité des eaux souterraines dépendra donc ensuite de l'aléa réel présent sur ces surfaces et des actions menées pour écarter le risque de pollution des eaux de surface qui s'infiltreraient dans le karst.

Finalement, l'objectif principal est de montrer que ces surfaces de ruissellement qui participent à la recharge du karst doivent être prises en charge par des actions prioritaires pour la protection de la ressource et des sources captées.

Bibliographie

Il faut noter que de nombreuses informations ont été mises à disposition par le PnrCQ et l'Agence de l'eau Adour-Garonne sous formes de couches géographiques numériques utilisables sous ArcView.

- Astruc JG, Coustou JC, Cubaynes R, Galharague J, Lorblanchet M, Marcouly R, Pelissie T, Rey J, (1994) Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000^{ème}), feuille Gramat (833). Orléans : BRGM, 69 p. Carte géologique par J.G. Astruc (1994)
- Dörfliger N, (1996) Advances in Karst Groundwater Protection Strategy using Artificial Tracer Tests Analysis and Multi-attribute Vulnerability Mapping (EPIK method), Ph.D. thesis university Neuchâtel, Neuchâtel, 308 p.
- Dörfliger N, Jauffret D, Loubier S (2004) Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en franche comté, avec la collaboration de v. petit, rapport BRGM rp-53576-fr, 121 pages, 24 illustrations, 4 annexes.
- Goldsheider N, Klute M, Sturm S, Hotzl H, (2000) The PI method – A GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of Karst aquifers, *Z. Angew. Geol. Hannover*, 46 (2000) 3, pp. 157-166.
- Kavouri D. (2008) Evaluation cartographique de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie nord du Causse de Gramat (Lot). Rapport Université Pierre et Marie Curie- Paris 6 / PnrCQ, disponible prochainement sur le site de l'AEAG.
- Petelet-Giraud E, Dörfliger N, Crochet P, (2000) RISKE : méthode d'évaluation multicritère de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Application aux systèmes des Fontanilles et cent-fonts (Hérault, sud de la France), *hydrogéologie*, n°4, pp. 71-88.
- Plagnes V., Théry S., Fontaine L., Bakalowicz M., Doerfliger N., (2005) Karst vulnerability mapping: Improvement of the RISKE method. *KARST 2005, International conference and field seminar, Water resources and environmental problems in Karst, 14-19 september 2005 Belgrade-Kotor, Serbie.*
- Pranville J, Plagnes V, Rejiba F, Tremoulet J, (2007) Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat. Rapport Université P. et M. Curie-Paris 6, UMR Sisyphe 7619, Parc naturel régional des Causses du Quercy et Agence de l'Eau Adour-Garonne, 143 p. (<http://www.eau-adour-garonne.fr/page.asp?page=1758>).
- Pranville J, Plagnes V, Rejiba F, Tremoulet J, (2008) Cartographie de la vulnérabilité sur la partie sud du causse de Gramat : application de la méthode RISKE 2 », revue « géologues » n° 156, pp. 44-48.
- Saunier-Techna, (1999) Protection des prises d'eau de surface. Quelles stratégies? Etudes des agences de l'eau N°75, 58 p.
- Vias JM, (2000) Evaluación y cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero carbonatado de Torremolinos (Málaga), Bachelor Thesis University of Málaga, unpublished, 160 p

