



L'AMÉLIORATION DE LA CONNAISSANCE DES BASSINS VERSANTS KARSTIQUES PAR LES TRAÇAGES HYDROGÉOLOGIQUES DANS LES CAUSSES DU QUERCY

Thierry PELISSIE, géologue, Membre du Conseil scientifique et de prospective du Parc
Joël TREMOULET, hydrogéologue, Président du Comité départemental de spéléologie du Lot

S'il est très facile de connaître l'origine d'un ruisseau de surface, il en va tout autrement pour l'eau qui jaillit au pied d'une falaise calcaire. Or les causses du Quercy recèlent plusieurs dizaines de ces émergences. D'où viennent-elles ? Les auteurs proposent ici, à travers quelques exemples concrets, de montrer comment ont évolué les moyens de lever ce mystère. Et comment les traçages, et pas seulement le célèbre vert de la fluorescéine, ont permis et permettent toujours d'affiner la connaissance des bassins versants qui alimentent l'essentiel des ressources en eau de cette région.

1– Sens de l'observation et légendes

Depuis des temps immémoriaux, les populations locales ont imaginé des relations entre la disparition des ruisseaux au contact Limargue/Causse et les sources situées parfois fort loin dans les vallées.

En témoigne la toponymie quand, comme c'est le cas pour l'Ouyse, on retrouve le même nom pour le ruisseau en amont, avant sa disparition dans les pertes de Thémines, et en aval, à 20 km de distance, à partir de la source de Cabouy. Cette correspondance se retrouve dans la légende d'Elise et de Piérounel. Celui-ci, apprenant le métier de meunier à Cabouy, recevait par le cours d'eau souterrain des messages gravés sur une planchette et jetés par sa bien-aimée dans les pertes de Thémines. Mais le père d'Elise s'opposant farouchement à leur union, celle-ci finit par se précipiter dans le gouffre... ce que Piérounel comprit lorsque la source lui livra une robe toute déchirée.

Ce genre de légende se retrouve en de nombreux points. A Laramière ce sont les canards qui disparaîtraient sous terre avant de ressurgir, 38 km à l'ouest, aux Chartreux à Cahors. A Bramarie, le bâton d'un berger perdu dans l'abîme, serait ressorti à Font Polémie, 13 km au sud-ouest. Voulant expédier un mouton à sa mère par le même chemin, le malheureux berger fût entraîné par l'eau. La source ne restitua quelques temps plus tard que son chapeau accompagné du mouton, dont l'histoire ne précise pas l'état !

Mais tout n'est pas que légende, de simples observations permettant souvent d'établir les relations pertes/ émergences. Ainsi les gens du causse de Limogne savaient que l'été, pour peu qu'un orage se soit abattu vers la Croix Blanche entre Promilhanes, Vidaillac et Beaugard, ils pouvaient descendre faire leur mouture 2 jours plus tard au moulin du Trou Madame (Cénevières) où le débit serait alors suffisant. Parfois il s'agit de constats ponctuels comme cette crue qui entraîna les endives, cultivées dans la grotte du même nom à côté de la Maresque, jusque dans le gouffre de Padirac.

2– Les premières approches scientifiques

L'abbé Jean Baptiste Paramelle, natif de Felzins, est un des premiers à adopter, contre l'usage de la « baguette divinatoire » des sourciers, une démarche raisonnée pour rechercher les sources et points d'eau. Sa méthode, qui repose notamment sur des données géologiques et géomorphologiques, est décrite dans « L'art de découvrir les sources » dès 1827. Même si ce n'était pas son objectif premier, ce travail l'amène à mettre en relation pertes et résurgences en se basant en priorité sur la disposition des gouffres et des vallées sèches. Selon cette « théorie du jalonnement », en suivant les combes qui prolongent sur le causse le ruisseau du Francès après sa disparition dans les pertes de Théminettes, les eaux englouties devraient ressurgir dans la vallée du Célé, non loin de Marcilhac.

Edouard Alfred Martel, le célèbre explorateur de Padirac, combattant au passage les idées de Paramelle, préférait donner la priorité aux informations souterraines qu'il récoltait lors de ses explorations spéléologiques. Ainsi à Padirac, vu la direction essentiellement sud-nord de la partie explorée à cette époque, il proposa par erreur la source de Gintrac comme exutoire du système.

De façon inopinée, le 14 juillet 1891, il établit avec certitude la relation entre le gouffre de la Berrie et la fontaine de Graudène proche de Catus, ce qui faillit d'ailleurs lui coûter la vie. Constatant la présence d'un cadavre de veau en décomposition baignant dans le ruisseau souterrain de l'igue, il réalisa qu'il avait bu juste avant l'eau de la fontaine située à seulement 250 m. Sévèrement intoxiqué par l'absorption de ce « bouillon de veau », il n'eut de cesse une fois remis de faire inscrire ce problème de pollution dans la loi relative à la santé publique, démarche qui aboutit sous le nom de « loi Martel » le 15 février 1902, interdisant le jet de cadavres animaux et de détritiques dans les gouffres et les grottes.

3– Les colorations

L'objectif est de marquer l'eau de façon visible (photo 1) afin d'établir la preuve d'une relation souterraine entre une perte et une résurgence. En France, une des toutes premières fut accidentelle. En 1901, un incendie ravageant l'usine Pernod de Pontarlier, on décida de vider les cuves d'alcool anisé dans le Doubs tout proche. Trois jours plus tard, surprise : les sources de la Loue, à 10km au nord-ouest, débitaient une eau à l'odeur et au goût d'absinthe !



Photo 1 : Injection de sulforhodamine dans l'igue de la Verrerie (Espédaillac)

On préféra ensuite utiliser la fluorescéine dont l'usage fut popularisé par Norbert Casteret qui, le 19 juillet 1931, démontra grâce à ce colorant qu'une des sources de la Garonne provient en fait du glacier du pic de l'Aneto dont on pensait jusque là qu'il alimentait le bassin méditerranéen.

La technique, consistant à injecter plusieurs kilogrammes de « fluo » dans une perte ou une rivière souterraine afin d'obtenir une coloration verte immanquable (photo 2) à la sortie des eaux se généralisa alors. Guy de Lavour en profita pour confirmer son intuition. Invoquant des critères « esthétiques », il était convaincu que les eaux de Padirac réapparaissaient au jour dans le cirque de Montvalent et non pas à Gintrac. Par deux fois, en juillet 1947 puis en décembre 1950, l'expérience lui donna raison : les sources de Saint-Georges et du Lombard furent à chaque fois magnifiquement colorées. Ce fut même la toute première opération semi-quantitative avec le dosage, par le professeur Caro, de la fluorescéine dans les échantillons d'eau prélevés à la source.



Photo 2 : A gauche : injection de fluorescéine à la perte de Boulière (Thégra). A droite : restitution visible de cette même fluorescéine à la source de Bonnefont (Mayrinhac-Lentour)

Le tableau 1 présente les principales colorations qui, entre les années 1940 et 1990, ont ainsi permis de valider ou rectifier les relations précédemment évoquées.

La relation perte de Thémynes/Cabouy fut confirmée. Mais d'autres résultats vinrent contredire les légendes, même si celles-ci perdurent parfois dans la mémoire collective : les pertes de Thémynettes ne vont pas vers le Célé mais rejoignent Cabouy, celles de Bramarie n'alimentent pas Font Polémie et le Vers mais l'Ouyse et la Dordogne via la source de Saint-Sauveur. Les eaux du gouffre de Planagrèze ne se dirigent pas au sud vers la Pescalerie mais au nord vers Saint-Sauveur. Et si la perte de Laramière rejoint bien le Lot, c'est par le gouffre de Lantouy, 35 km en amont des Chartreux.

Tableau 1 : Quelques colorations « historiques »

Point d'injection	Date d'injection	Restitution du traceur mesurée à	Temps d'arrivée et vitesse moyenne	Traceur utilisé	Coordonnateur de l'opération
Gouffre de Padirac— Lacs des Grands gours (terminus touristique)	09/08/1947	Lombard	Basses eaux 87 jours Environ 4,8m/h	Fluorescéine (75 kg !)	De Lavaur
		Saint-Georges	Basses eaux 97 jours Environ 4,3m/h		
Perte de Thémynettes	1948	Cabouy (Ouyse)		Fluorescéine	
Perte de Thémynes	1948		Fluorescéine		
Perte de Laramière	05/09/1968	Latouy (Salvagnac Cajarc)	En hautes eaux 3 jours 162m/h	Fluorescéine (30kg)	Etat (DDA 46)
Igue de Planagrèzes (Caniac-du-Causse)	13/05/1995	Saint-Sauveur (Ouyse)	En basses eaux 63 jours/h	SulfoRhodamine	Etat (DDAF 46)

4 – Les traçages

Les traçages constituent une forme plus aboutie des colorations. D'une part on ne cherche plus à ce que le traceur soit directement visible à l'œil nu, on l'évite même soigneusement pour ne pas effrayer les consommateurs quand il s'agit d'une source captée. D'autre part, et surtout, on passe d'une approche qualitative (simple mise en évidence de la relation entre point d'injection et point de sortie) à une approche quantitative.

Cela implique à la fois de connaître les débits d'eau à l'entrée et à la sortie du système et d'assurer des prélèvements réguliers et étalés dans le temps d'échantillons d'eau pour analyses. (photo 3)



Photo 3 : Lors de traçages, un préleveur automatique permet de récupérer des échantillons d'eau à intervalles réguliers. L'analyse en laboratoire permettra de détecter puis de doser le traceur éventuellement présent même s'il demeure invisible à l'œil nu.

A gauche : préleveur en fonctionnement à la source de Saint Sauveur.

A droite : chaque compartiment contient l'eau d'un prélèvement.

On peut de la sorte estimer la quantité de traceur réellement restituée à la source et suivre les modalités de cette restitution : dilution plus ou moins importante, étalement du signal, etc.

Autant d'éléments qui permettent de mieux appréhender le fonctionnement du drainage karstique, voire de modéliser le transfert d'une pollution éventuelle de son point d'entrée dans le système jusqu'à sa sortie et donc de savoir de combien de temps dispose le gestionnaire de la ressource aquifère pour réagir et mettre en place des solutions de recharge. Ce type de démarche est aujourd'hui indispensable pour établir les périmètres de protection des points de captages.

La figure 1 présente l'évolution des connaissances des relations hydrogéologiques à travers le causse grâce à l'utilisation de cette technique. Les tons violets proposés pour les bassins versants sont reliés aux diverses campagnes de traçages alors que les zones blanches correspondent aux secteurs pour lesquels on ne dispose pas d'informations de ce type. Pour en comprendre la lecture il suffit d'imaginer qu'avant la date indiquée en légende, les zones colorées correspondantes étaient blanches. On voit bien dès lors que les incertitudes sur les limites des bassins versants se réduisent de plus en plus.

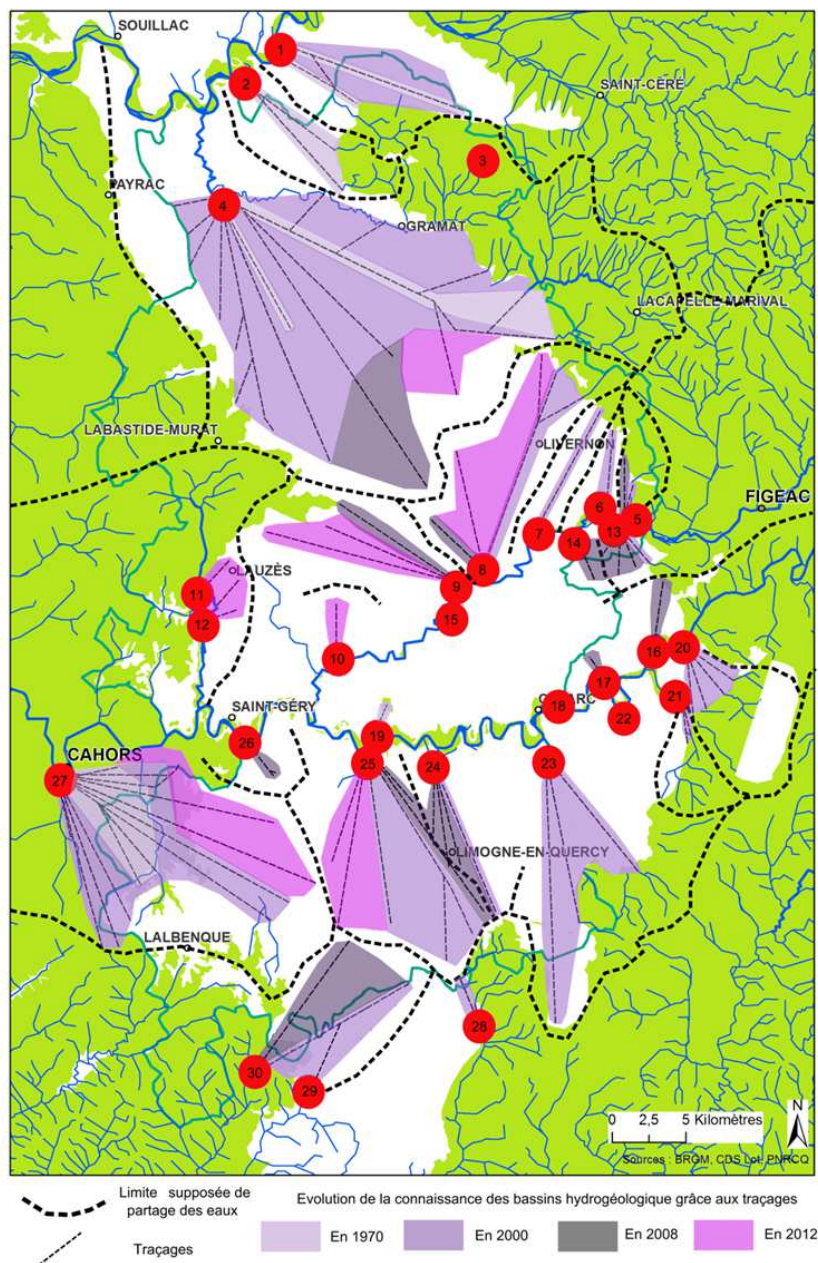


Figure 1 : Carte montrant comment les traçages ont progressivement permis d'établir les bassins hydrogéologiques de la plupart des exutoires karstiques du PnrQ .

Les terrains karstiques sont en blanc. Les émergences captées ou non portent les numéros suivants :

- 1 : Sources de Padirac (St Georges, Lombard, la Finou) 2 : Les Limons 3 : Bonnefont 4 : Sources de l'Ouyse (Cabouy, St-Sauveur, Font Belle) 5 : Pech Laval 6 : Corn 7 : La Diège 8 : Font del Pito 9 : Ressel 10 : Pescalerie 11 : Boucayrac 12 : Font Polémie 13 : Bullac 14 : Bual 15 : Marchepied 16 : Bons 17 : Montbrun 18 : Landenouze 19 : Mélines 20 : Sources de Foissac (Roquevièrre, Moulin de Lève) 21 : Doux de Montsalés 22 : Cunhac 23 : Lantouy 24 : Trou Madame 25 : Crégols 26 : Iffernet 27 : Chartreux 28 : St-Géry 29 : Broze 30 : Cande

5 – Etat des lieux et perspectives

Au fil des années et des campagnes successives, la connaissance des limites des bassins versants des principales émergences s'est donc largement affinée, remettant parfois en cause des interprétations longtemps considérées comme des faits acquis. Le tableau ci-dessous présente les résultats des traçages les plus significatifs dans ce domaine.

Point d'injection	Date d'injection	Restitution du traqueur mesurée à	Temps d'arrivée et vitesse moyenne	Traceur utilisé	Maitre d'ouvrage
Igue de Bonneau (Sénaillac-Lauzès)	25/04/2005	Ressel (Célé)	En crue 2,9 jours 145 m/h	Fluorescéine (10 kg)	PNRCQ
Doline à Scelle (Flaujac-Gare)	15/05/2008	Besaces (Ouyse)	En hautes eaux 10,6 jours 460 m/h	Naphtionate (30 kg)	
Doline à Scelle (Flaujac-Gare)		Saint-Sauveur (Ouyse)	En hautes eaux 12,2 jours 1442 m/h		
Gouffre des Salisses (Blars)				En hautes eaux 4,7 jours 728m/h	
Gouffre de la Croix blanche (Sénaillac-Lauzès)	25/11/2009	Ressel (Célé)	12,15 jours 33m/h	Fluorescéine (10 kg)	
Doline de Pommeyriol (Sénaillac-Lauzès)	26/11/2009		11,3 jours 49M/h	SulfoRhodamine G (10kg)	
Igue de la Verrerie (Espédaillac)	28/11/2009	Cabouy (Ouyse)	En hautes eaux 26 jours 36 m/h	SulfoRhodamine G (15kg)	
Igue du Mas d'Aubrac (Limogne-en-Quercy)	26/02/2008	Trou Madame (Cénevières)	En basses eaux 16 jours 19,1 m/h	SulfoRhodamine B (1kg)	
		Crégols	Suite à la crue 26 jours 15,5 m/h		

Comme le souligne la figure 2, le cas le plus probant concerne la limite entre les zones d'alimentation de l'Ouyse et du Célé avec d'importantes surfaces qui ont « changé » de bassins versants et ce dans les deux sens.

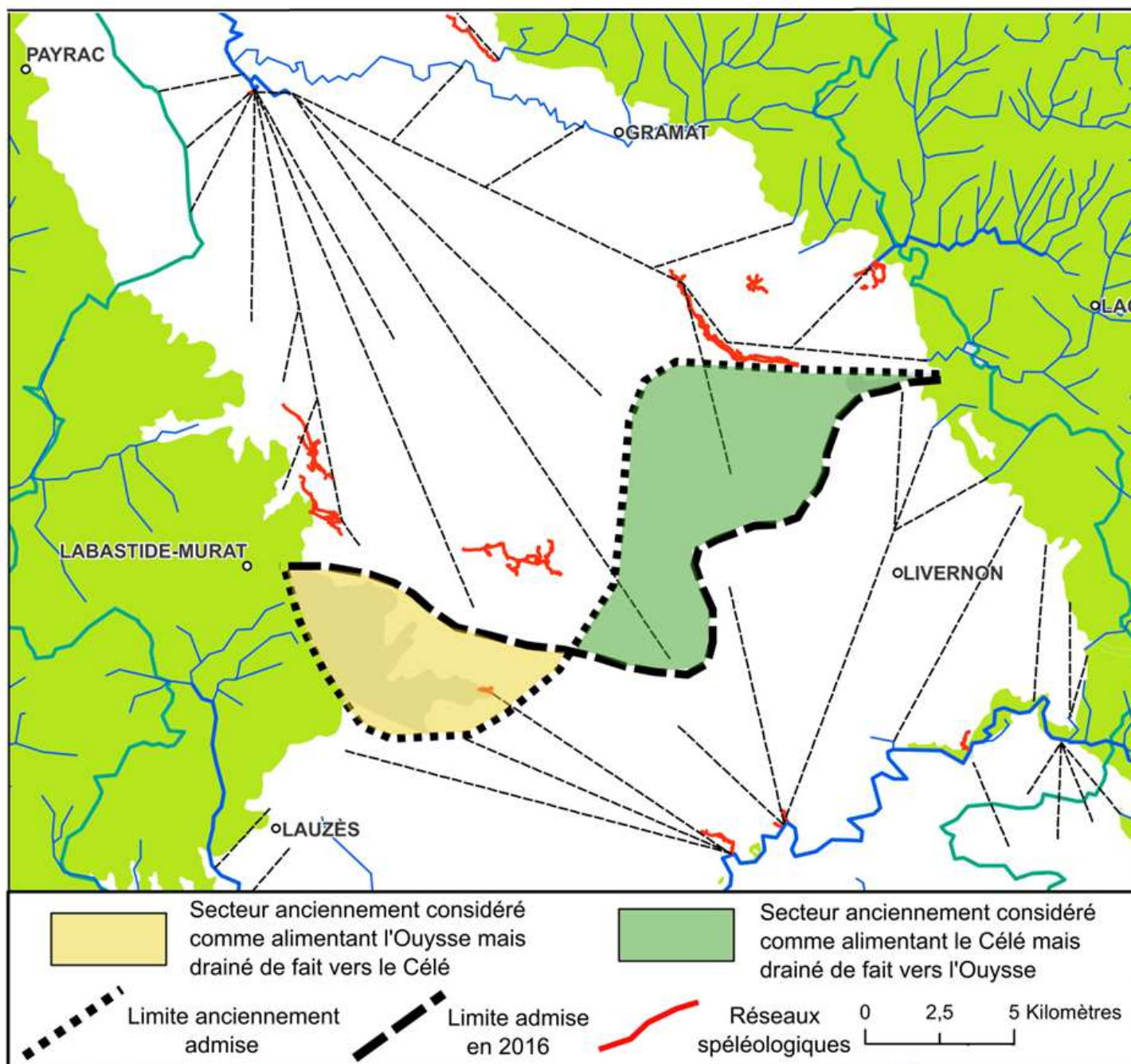


Figure 2 : Les traçages et l'évolution des connaissances sur la limite des bassins versants de l'Ouyse et du Célé

De la même façon, et même si les relations entre Célé, Sagne et Vers demandent encore à être précisées, l'importance de la zone drainée par le Ressel a été considérablement accrue au détriment du bassin de la Pescalerie qui s'avère ainsi beaucoup plus réduit que ce que l'on imaginait initialement.

Dans le périmètre du Parc, hormis pour l'importante zone blanche du causse de Saint-Chels et le secteur compris entre les systèmes du Trou Madame et de Lantouy pour lesquels on ne dispose quasiment d'aucune information, les limites des bassins versants des principales sources sont aujourd'hui relativement bien définies.

Mais il convient de garder à l'esprit que nous sommes en présence de zones d'incertitudes, certes de mieux en mieux contraintes, mais qui ne se résoudront jamais en frontières intangibles. Le destin d'une goutte d'eau dépend souvent des conditions hydrauliques et donc climatiques. En témoigne le traçage réalisé à partir de l'igüe du Mas d'Aubrac à Limogne : les premières restitutions, en basses eaux, ont eu lieu au Trou Madame à Cènevières ; quelques jours plus tard, suite à une crue, c'est à la source de Crégols que le traceur s'est manifesté. Or, si la première n'est pas utilisée pour les besoins humains en eau potable, la seconde alimente une vingtaine de communes du causse.

D'autres traçages, couplés à un suivi régulier de l'hydrodynamique souterraine, seront également nécessaires pour mieux comprendre le fonctionnement interne à chaque système. Cette démarche, initiée via l'observatoire intrakarst piloté par le Parc naturel régional des Causses du Quercy, et la mise en place d'appareils mémorisant les niveaux d'eau dans plusieurs cavités du système de l'Ouyse, permettra de préciser les modalités de drainage entre ce qui relève d'un transit rapide des eaux de pluie à travers le causse en période humide et ce qui se rapporte à un stockage permettant de maintenir les niveaux d'étiage.

Dans la perspective du changement climatique et de ses impacts en termes de raréfaction de la ressource aquifère, cette connaissance s'avèrera à coup sûr fondamentale.

Un peu de vocabulaire : sources, résurgences, exurgences, émergences

S'il est clair qu'une source correspond au point où de l'eau sort du sous-sol, les trois autres termes font référence à l'origine de cette eau. Dans un massif calcaire, l'eau de la source peut être celle d'un ruisseau s'écoulant en amont sur des terrains imperméables et disparaissant sous terre au niveau d'une perte : on parle alors de résurgence. Mais il peut s'agir également de l'eau de pluie infiltrée de façon diffuse à travers toute la surface du plateau : on utilise alors le vocable exurgence. Dans la pratique, les choses sont rarement binaires. Ainsi, pour les causses du Quercy, aux innombrables ruisseaux ou ruisselets absorbés par les pertes du contact avec le Limargue, s'ajoute l'eau directement infiltrée à travers la masse calcaire. Les sources étant à la fois résurgence et exurgence, c'est le terme émergence qui est employé pour traduire cette dualité.

Colorations ou traçages ?

La distinction entre ces deux termes n'est pas vraiment scientifique. Dans les deux cas il s'agit de marquer l'eau à l'aide d'une substance. Les produits utilisés peuvent être colorants, vert comme la célèbre fluorescéine ou uranine (photo 2), ou rouge comme la sulforhodamine (photo 1), l'éosine ou le naphthionate de sodium. On peut également utiliser des marqueurs non colorants mais facilement détectables comme le sel de cuisine ! La différence est histoire de quantité : pour une coloration on injecte suffisamment de produit pour que la couleur soit visible à l'œil nu, pour un traçage on ne détectera rien de façon visuelle ; il faudra avoir recours à des analyses spécifiques avec des fluorimètres de terrain ou mieux en laboratoire, avec prélèvement de séries d'échantillons d'eau (photo 3), des spectrofluorimètres.

Ainsi, si la coloration donne simplement une information sur la relation point d'injection/point de restitution, le traçage, associé à des mesures de débits, permet de déterminer la part du traceur effectivement restituée à la source, sa dilution, son temps de sortie, etc., autant de paramètres précieux pour mieux appréhender la façon dont l'eau circule sous terre.

L'abbé Paramelle

Né en 1790 à Felzins, il est ordonné prêtre en 1815. Féru d'histoire et de géologie, il est sollicité par un paroissien qui manquait d'eau et développe alors sa méthode pour localiser sources et points d'eau. En 1827, il publie une « Hydrologie du département du Lot ». De 1832 à 1854, déchargé de paroisse, il parcourt la France entière et aurait découvert 10 275 sources. En 1856, paraît la première édition de « L'art de découvrir les sources » qui sera rééditée à plusieurs reprises. Il meurt en 1875 à Saint-Céré.

Qui a permis d'acquérir toutes ces connaissances ?

Ce sont d'abord des passionnés, souvent des spéléologues comme Guy de Lavour ou Jean-Guy Astruc, qui cherchaient à savoir vers où se dirigeaient les eaux dont ils rêvaient de suivre le chemin souterrain. Ce sont également des scientifiques comme les professeurs Caro ou Roques, ce dernier natif de Gramat. Ou André Tarrisse qui, après un remarquable travail de thèse sur la bordure nord du causse de Limogne, a élargi ses recherches à tout le département au fil de sa carrière professionnelle à la DDA du Lot. Plus récemment, en lien avec les besoins de valorisation et de protection de la ressource en eau, les acteurs se sont institutionnalisés : l'État via la DDAF puis la DDT comme évoqué précédemment mais aussi les Autoroute (ASF), les Syndicats d'eau potable, etc. Sans oublier les appuis financiers (Agence de l'Eau, Département, Région, Syndicat des eaux, etc.) et techniques (services de la DDAF, Pnr, bureaux d'études spécialisés, CDS 46) indispensables pour mener à bien ce genre d'opération.

Bibliographie

Bardeau M. & Belgodere C. - Actualisation de la synthèse hydrogéologique du département du Lot. Rapport final BRGM/ RP-57678-FR, 2009

De Lavour G. - Hydrologie souterraine du Causse de Gramat (Lot) et application à des considérations générales sur la circulation des eaux souterraines. 1^{er} Congrès International de Spéléologie Paris, t.3, 1955

Mondain P.H. & Muet P. - Proposition d'une grille d'évaluation des résultats des traçages en milieu karstique (au moyen de traceurs fluorescents). Comité français d'Hydrogéologie - Colloque Hydrogéologie et karst au travers des travaux de Michel Lepiller 17 mai 2008, 2008, pp 191-205

Paramelle J.B. - L'art de découvrir les sources. Victor Dalmont Editeur, Paris, 1856

Roques H. - A propos de l'hydrogéologie de la bordure Nord-Est du Causse de Gramat (Lot). Annales de spéléologie, Spelunca 3^{ème} série, t.11, n°33, 1956, pp. 85-99.

Soulé J.C. - Hydrogéologie du département du Lot et des Causses du Quercy Carte au 1/100.000 Editions BRGM, 1977

Tarrisse A. - Contribution à l'étude hydrogéologique de la bordure nord du Causse de Limogne Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Toulouse, 1974

Remerciements : Un grand merci à André Tarrisse et Jérôme Viers pour leur relecture attentive, leurs remarques avisées et les précieux compléments qu'ils nous ont apportés.



Régards sur le Parc
Bulletin du Conseil scientifique et de prospective
du Parc naturel régional des Causses du Quercy

Edition du Parc naturel régional des Causses du Quercy

Directrice de publication : Catherine Marlas

Numéro 31, septembre 2016