

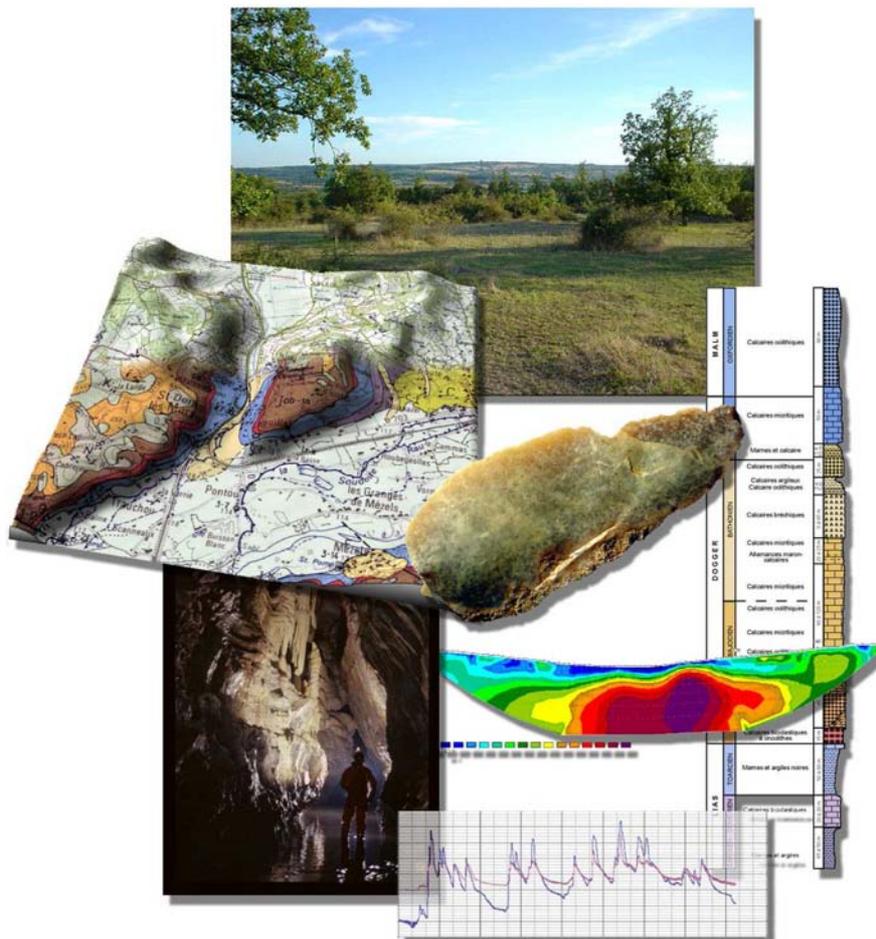


# JOURNEES AFK / AGSO / CFH

11-12-13 et 14 septembre 2008

Excursions en Quercy

## Livret-Guide







---

# JOURNEES AFK / AGSO / CFH

11-12-13 et 14 septembre 2008

Organisées par  
Laurent Bruxelles, Pierre Marchet et André Tarrisse

---

## Livret-Guide des excursions

---

Sous le haut patronage du Comité National Français  
et de l'Année Internationale de la Planète Terre

Avec le soutien de l'INRAP  
(Institut National de Recherches Archéologiques Préventives)  
et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

---

Recherches **Inrap**  
archéologiques

INRAP  
Institut National  
de Recherches  
Archéologiques  
Préventives







Comité Français d'Hydrogéologie

## JOURNEES AFK / AGSO / CFH 11-12-13 et 14 septembre 2008

### Excursions en Quercy

#### SOMMAIRE DU LIVRET-GUIDE

La série stratigraphique des Causses du Quercy .....	5
<i>Jean-Guy Astruc, Laurent Bruxelles et Richard Ciszak</i>	
Les principales étapes de la morphogenèse caussenarde .....	11
<i>Jean-Guy Astruc, Laurent Bruxelles et Régine Simon-Coinçon</i>	
Hydrogéologie du Quercy.....	17
<i>Jean-Guy Astruc, avec la contribution de Jean-Paul Fabre, Pierre Marchet, Philippe Muet, Thierry Pélissié, Michel Plaud, André Tarrisé</i>	
Blagour de Chasteaux et Forages d'Entrecors .....	23
<i>Philippe Muet</i>	
Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de deux systèmes karstiques : Le Blagour de Chasteaux / Le Sorpt.....	31
<i>Christophe Paris -Philippe Muet</i>	
Evolution et dynamique sédimentaire dans les dolines du Causse de Martel .....	35
<i>Laurent Bruxelles et David Colonge</i>	
Les dépressions karstiques dans les Causses du Quercy . .....	39
<i>Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon</i>	
Le fontis de l'aire de Peuch Montat .....	47
<i>Philippe Muet</i>	
Le site archéologique des Fieux.....	51
<i>Vincent Mourre</i>	
Investigations géophysiques en contexte karstique : site du Quercy ... ..	61
<i>Fayçal Rejiba, Julien Pranville, Dina Kavouri et Valérie Plagnes</i>	
Essai de reconstitution du réseau hydrographique du Quercy du Cénozoïque au Quaternaire .....	73
<i>Jean-Guy Astruc et al.</i>	
Vallées et vallons caussenards : les témoins de l'encaissement progressif du réseau hydrographique sur le Causse de Gramat .....	77
<i>Laurent Bruxelles et Jean-Guy Astruc</i>	

Approche de la vulnérabilité des aquifères karstiques par méthodes géophysiques : application au système karstique de la Doux d'Issepts.....	85
<i>Christophe Subias</i>	
Etude hydrogéophysique du site de Poumeyssen .....	91
<i>Rémi Valois et Roger Guérin</i>	
Documents photographiques inédits d'Eugène Trutat sur l'exploitation des phosphorites du Quercy .....	93
<i>Francis Duranthon &amp; Frédéric Ripoll</i>	
Continuité des aquifères du Quercy vers l'ouest : synthèse géologique et hydrogéologique des réservoirs captifs du Jurassique de la plate-forme nord-aquitaine .....	105
<i>Jean-Pierre Platel, Nicolas Pedron &amp; Bernard Bourguine</i>	
Le système karstique de la Fontaine des Chartreux : approche couplée par la modélisation et la géochimie pour quantifier les apports du Lot .....	111
<i>François Moussu, Valérie Plagnes, Ludovic Oudin, Clément Roulet</i>	
Actualisation de la synthèse hydrogéologique du département du Lot. ....	117
<i>Mélanie Bardeau</i>	
Pech-Merle.....	123
<i>Jean-Guy Astruc</i>	
Les phosphatières du Quercy : d'une exploitation minière au laboratoire naturel de l'évolution .....	125
<i>Thierry Pélissié</i>	
Connaissances hydrogéologiques de la Fontaine des Chartreux et de son bassin d'alimentation .....	129
<i>DDEA46 - Service d'Ingénierie d'Appui Territorial</i>	
Saint-Cirq-Lapopie .....	139
<i>Jean-Guy Astruc</i>	
Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du causse de Gramat.....	141
<i>Dina Kavouri, Julien. Pranville, Joël Trémoulet, Valérie Plagnes, Fayçal Rejiba</i>	
La couverture crétacée, son extension, sa transformation et son ablation. Environnements de dépôts et paléogéographie.....	149
<i>Jean-Pierre Platel, Jean-Guy Astruc, Laurent Bruxelles</i>	
Reconnaissance de l'extension de la sédimentation crétacée ....	159
<i>Régine Simon-Coinçon</i>	
Récents découvertes sous le Causse de Martel .....	163
<i>Joël Trémoulet</i>	
Détermination de l'origine des nitrates dans quelques sources karstiques des Causses du Quercy (Lot) par le traçage isotopique des sources d'azote .....	165
<i>BRGM</i>	
Estimation du temps de séjour par étude isotopique des eaux de deux sources karstiques des Causses du Quercy : source de la Fade (Labastide du Vert) et de St Martin de Vers... ..	175
<i>Mélanie Bardeau</i>	

Apports de la mesure en continu de paramètres-guides.....	177
<i>André Tarrisse - Patrick Hannoyer</i>	
La protection de l'eau du causse de Gramat : contexte d'un massif partagé .....	183
<i>Joël Trémoulet</i>	
Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac, Commune de Payrignac – Lot.....	187
<i>André Tarrisse - Patrick Hannoyer</i>	
Fonctionnalités hydrodynamiques et hydro physico-chimiques des karsts sableux du Gourdonnais lotois. Captage A.E.P. de la source de Nadaillac, Commune de Payrignac – Lot ...	195
<i>André Tarrisse - Patrick Hannoyer</i>	
Carte piézométrique et traçages autour du captage de Nadaillac .....	211
<i>Philippe Muët</i>	
Sondage de reconnaissance hydrogéologique à Payrignac .....	215
<i>Hydro.Géo.Consult / EFG</i>	
Les grès de Gourdon.....	221
<i>Jean-Guy Astruc</i>	
La séquence Pléistocène moyen de Coudoulous I (Lot). Bilan pluridisciplinaire ...	225
<i>Jacques Jaubert &amp; al.</i>	
Géologie de Coudoulous I .....	227
<i>Bertrand Kervazo, Jacques Jaubert, Laurent Bruxelles, Catherine Ferrier, Didier Keravis, S. Konik</i>	
Géologie de Coudoulous II .....	235
<i>Bertrand Kervazo, Jean-Philippe Brugal, Laurent Bruxelles, Catherine Ferrier, Didier Keravis, S. Konik</i>	
Paléontologie et Archéologie du site de Coudoulous.....	241
<i>Jean-Philippe Brugal</i>	
L'inventaire des sources potentielles de pollution de l'eau en zone karstique.....	247
<i>Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées – Delphine Jaconelli</i>	

---

*Ce livret a été imprimé par l'atelier de reproduction de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, grâce à l'aide précieuse de Mrs Gérard ALMON et Jean GONZALEZ.*





Le groupe des participants sur le terrain (Photo Philippe CROCHET)



Conférences en salle (Photo Pierre MARCHET)

# La série stratigraphique des Causses du Quercy

Jean-Guy Astruc<sup>1</sup>, Laurent Bruxelles<sup>2</sup> et Richard Ciszak<sup>3</sup>.

1 - Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize. E-mail : [jean.astruc@wanadoo.fr](mailto:jean.astruc@wanadoo.fr).

2 - INRAP, ZAC des Champs Pinsons, 13 rue du Négoce 31650 St-Orens-de-Gameville et CRPPM/TRACES (UMR 5608 du CNRS). E-mail : [laurent.bruxelles@inrap.fr](mailto:laurent.bruxelles@inrap.fr).

3 - Institut des Sciences de la Terre (LMTG Toulouse, France), 14 av. Edouard Belin, 31400 Toulouse. E-mail : [ciszak@lmtg.obs-mip.fr](mailto:ciszak@lmtg.obs-mip.fr).

Les causses du Quercy sont des plateaux calcaires qui présentent des morphologies karstiques caractéristiques : dolines (cloups), grottes (crozes), gouffres (igues), réseaux de vallées sèches sillonnant la surface du plateau et buttes isolées (pechs). D'une altitude moyenne de 350 mètres, ils sont incisés par deux vallées principales : la Dordogne au nord, séparant le Causse de Martel et le Causse de Gramat, et le Lot au sud, entre le Causse de Gramat et le Causse de Limogne (fig. 1). La confluence des cours du Célé et du Lot isole un quatrième plateau, beaucoup plus petit : le Causse de Gréalou.

De part et d'autre des Causses du Quercy, deux régions naturelles contrastent avec les paysages caussenards : la Bouriane à l'ouest et le Limargue à l'est. La première est constituée de terrains argilo-sableux (crétacés et tertiaires) et supporte une végétation à dominante silicicole (châtaigniers, pins). Le Limargue est une étroite bande de calcaires marno-argileux du Lias, aux sols profonds et aux paysages bocagers, coincée entre les ségalas sur roche cristallophyllienne et le causse calcaire.

## I – Les principales formations sédimentaires

Les terrains mésozoïques quercynois constituent la couverture du socle cristallin dans le secteur du Limargue et de celui du Rouergue occidental, avec lequel il est en contact par la faille de Villefranche-de-Rouergue, à l'est du Causse de Limogne (fig. 1). Ils constituent ainsi une ceinture arquée, concave vers l'ouest. Du fait de la structure globalement monoclinale, l'ensemble carbonaté s'ennoie vers l'ouest sous les formations crétacées du Périgord, puis tertiaires du Bassin d'Aquitaine.

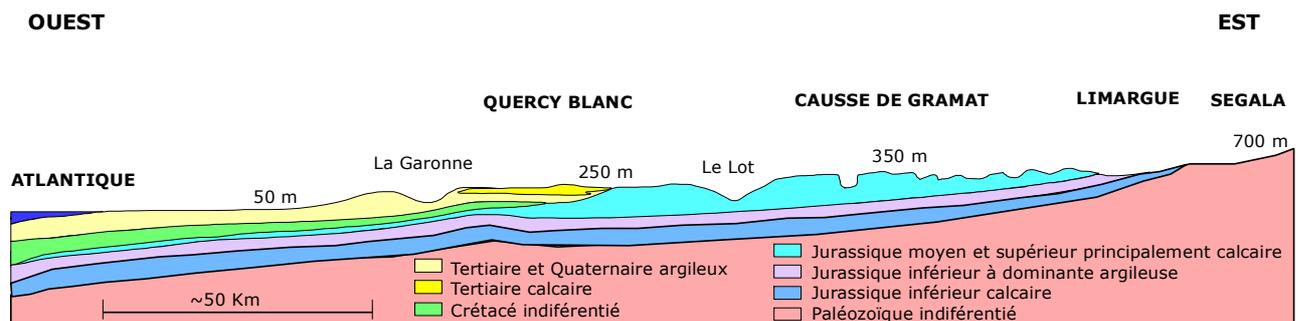
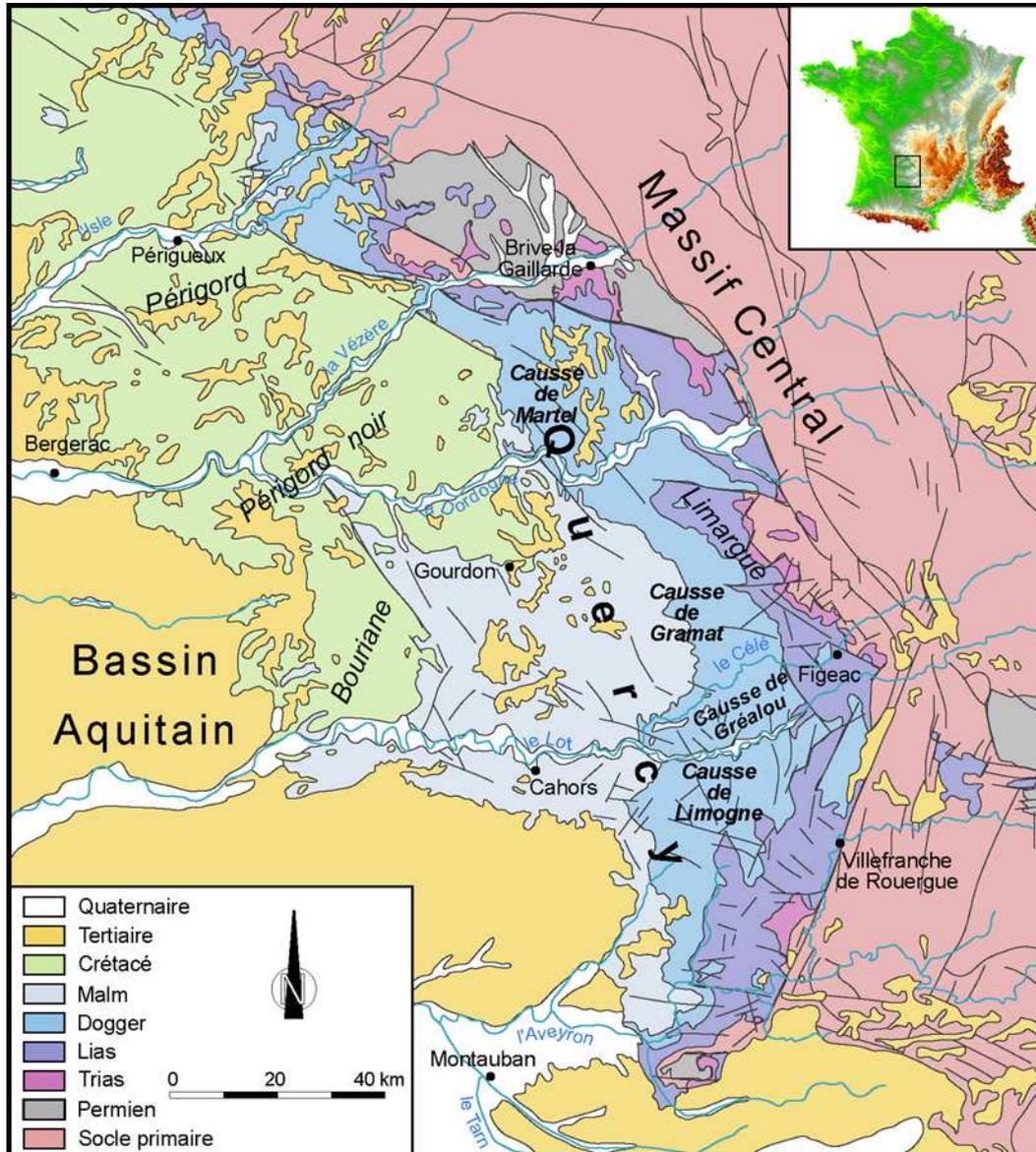
### *I.1 – Le Lias*

Le Lias affleure à l'est, entre le causse de Gramat et le Ségala. Il est profondément disséqué par le réseau hydrographique qui se hiérarchise avant d'aborder le causse.

Au-dessus des formations terrigènes fluviales du Trias et de la base de l'Hettangien, le Lias carbonaté débute par des dolomies suivies de brèches calcaréo-dolomitiques rapportées encore à l'Hettangien. Au-dessus viennent successivement (d'après R. Cubaynes 1986 et obs. pers. R. Ciszak) :

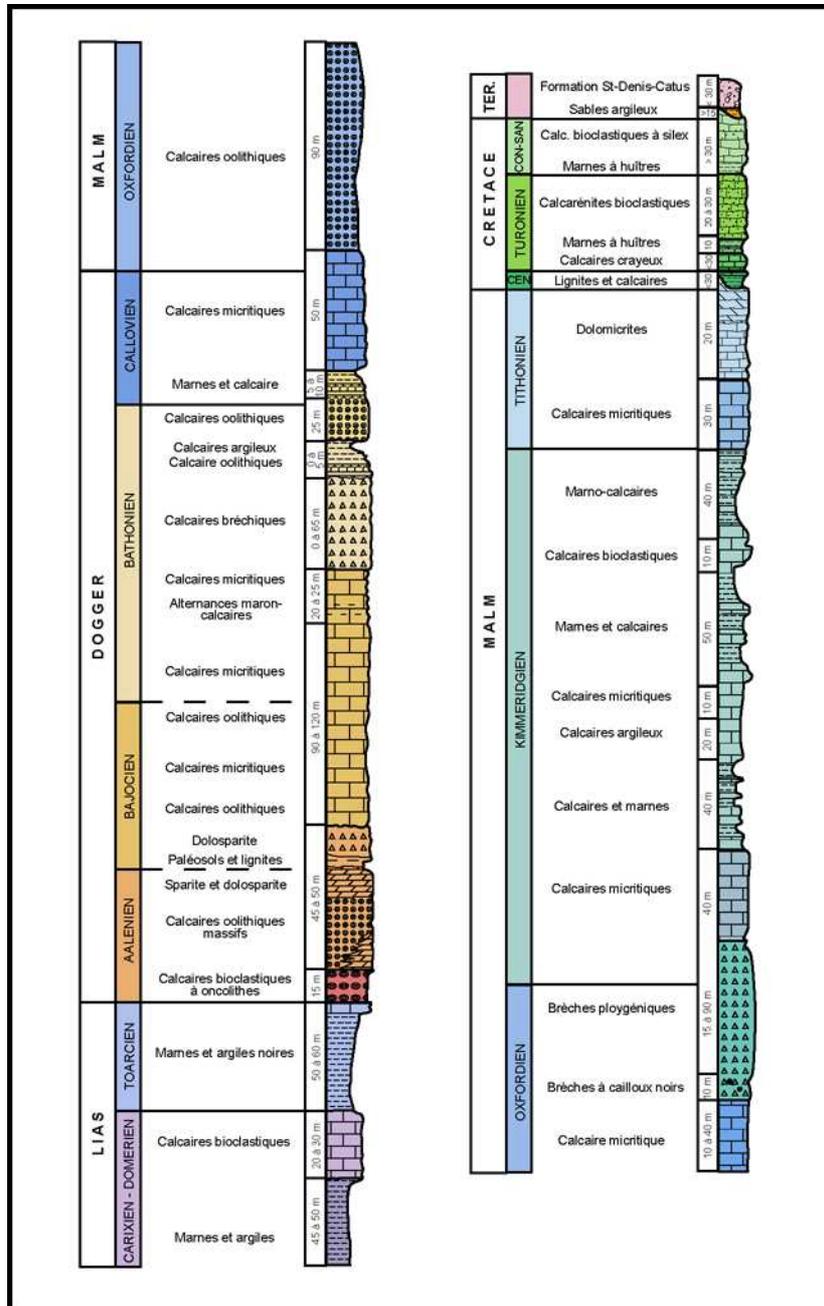
- les "calcaires à microrhythmes" du Sinémurien suivis des calcaires oolithiques du Lotharingien. Les brèches hettangiennes et les calcaires sinémuriens sont karstifiés et servent de réservoir hydraulique ;
- les calcaires argileux et alternances marnes-calcaires marneux fossilifères du Carixien (fig. 2);

- les marnes à Amalthées (40-50 m) couronnées par les calcaires bioclastiques roux, éventuellement karstifiés, (5 à 20m) représentant la "barre à Pecten", du Domérien ;
  - les marnes noires à ammonites (50-60 m) s'achevant par l'"assise à Gryphées" du Toarcien.
- Cette épaisse formation imperméable non karstifiable constitue le niveau de base des circulations souterraines des calcaires du Dogger.



## 1.2 – Le Dogger

Le Dogger affleure dans la partie orientale des plateaux, entre le Lias et le Malm. Ces formations constituent souvent les contreforts du plateau caussenard.



A la suite des marnes toarciennes (fig. 2), on distingue depuis la base (T. Pélissié, 1982 et obs. pers. R. Cizak) :

- les "calcaires marneux à oncolithes" (60 m) rapportés à l'Aalénien, sont tronqués par une discontinuité sédimentaire régionale. Cette formation géologique, quelquefois soumise à la karstification, est le siège de nombreuses pertes au contact du Limargue. Elle constitue la base souvent boisée, des principales corniches du causse ;

- des calcaires massifs à oolithes admettant vers le sommet plus ou moins dolomitisé de nombreuses chailles (formation d'Autoire) d'âge bajocien (Bruxelles *et al.*, sous presse). Ils sont suivis par des calcaires massifs à grain fin, à intercalations marneuses voire ligniteuses vers le sommet (formation de Cajarc), rapportés au Bathonien inférieur. Cet ensemble (30 à 150 m) à la base duquel se développent de nombreuses cavités est largement karstifié ;
- une puissante assise calcaire (80 m) à faciès variés (à grain fin, argileux ou à oolithes), en partie bréchique et/ou dolomitisés, constitue le Bathonien supérieur. Elle est couronnée par une discontinuité sédimentaire majeure marquée à l'échelle régionale ;
- des calcaires massifs (formation de Rocamadour) qui occupent l'intervalle Bathonien terminal-Callovien (80 m). Le sanctuaire de Rocamadour est bâti sur les calcaires attribués encore au Bathonien, alors que la corniche supérieure sur laquelle repose le château est déjà callovienne. C'est aussi dans cette formation que s'expriment les plus belles morphologies de canyon qui encadrent les cours de l'Alzou et de l'Ouyse.

### **I.3 – Le Malm**

Il concerne la plus grande partie de la surface du Causse. A dominante calcaire, il admet cependant des intercalations marneuses qui peuvent limiter le développement du karst. Ont été reconnus les faciès suivants :

- des calcaires oolithiques et graveleux (formation de Saint Géry, jusqu'à 90 m d'épaisseur en Limogne), puis des calcaires à Lamellibranches (Astartes ; formation de Vers, 20 m) couronnés par une discontinuité sédimentaire majeure, sont datés de l'Oxfordien inférieur. Ils servent d'assise à un épais ensemble de brèches polygéniques (50-100 m) rapportées à l'Oxfordien supérieur. Ce dernier faciès, lié à la dissolution d'évaporites (gypse, sel gemme) en zone supratidale, préfigure une tendance à l'émersion. L'ensemble bréchique passe progressivement vers le haut à des calcaires fins, bioturbés, en petits bancs, localement à galets mous (40-50 m), attribués au Kimméridgien inférieur ;
- un épais complexe calcaire (150 m) à faciès variés admet de nombreuses passées marneuses voire localement des schistes bitumineux du Kimméridgien supérieur (formation de Francouls). Cette formation affleure largement sur la moitié ouest du Causse de Gramat et sur le Causse de Limogne. Par ailleurs, peu karstifiable et localement imperméable, elle limite le développement vertical du karst et autorise le maintien de circulations sub-aériennes à la surface des causses ;
- une cinquantaine de mètres de calcaires est attribuée au Tithonien. Ces calcaires se présentent d'abord en petits bancs (formation de Peyrilles), puis à laminations stromatolithiques et passent enfin à des dolomies au sommet (formation de Cazals) marquant une tendance à l'émersion.

### **I.4 – Le Crétacé supérieur**

Les formations qui le composent sont extrêmement variables tant sur le point de leur puissance que de leur faciès (cf. notice Platel *et al* dans ce volume). De manière synthétique les principales formations observées dans le Quercy sont (Astruc, 1988 ; Astruc *et al.*, 1990) :

- les dépôts marins du Cénomaniens qui, dès la base, diffèrent selon la paléotopographie préexistante. Ils sont représentés par des marnes à niveaux ligniteux et des calcaires localement crayeux ;
- des calcaires plus ou moins crayeux (Turonien inférieur), au sommet desquels apparaissent quelques poches de dissolution ;
- des faciès gréseux voire localement sableux du Turonien supérieur,

- puis des marnes à Brachiopodes de la base du Coniacien suivies par des calcaires microcristallins et par des calcaires riches en bioclastes et en grains de quartz (Santonien inférieur) ;
- les dépôts du Santonien moyen au Campanien supérieur. Ils débutent par des calcaires crayeux et des marnes à huîtres. La partie supérieure est constituée de calcaires microcristallins et, au-dessus d'un épisode gréseux, d'un calcaire bioclastique à rognons de silex.

Dans le Crétacé supérieur du Quercy, les calcaires sénoniens sont intensément karstifiés. Les altérations recouvrant ces faciès ont fourni de grandes quantités d'argiles plus ou moins sableuses contenant des fragments de bois, des rudistes et des échinodermes silicifiés (cf. infra).

## Bibliographie

ASTRUC J. G. – 1988. – *Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Doc. BRGM, n°133, 149 p.*

ASTRUC J.-G., CAPDEVILLE J.-P., GALHARGUE J. et LORBLANCHET M. – 1990. – Notice de la carte géologique de la France au 1/50000, feuille de Gourdon, n°832, 45 p.

PELISSIE T. – 1982. – *Le Causse jurassique de Limogne-en-Quercy : stratigraphie, sédimentologie, structure.* – Thèse 3è cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 281 p. + 1 carte h.t.

BRUXELLES L., CHALARD P., DUCASSE S. et GUILLERMIN P. – Sous presse. – *Geoarchaeological Prospecting and Paleolithic Exploitation Strategies of the Bajocien Flints in Haut-Quercy, France.* – Actes du colloque de la Société américaine d'archéologie, San Juan (Porto Rico), 24-04 au 02-05-2006, 7 p. + 4 fig.

CUBAYNES R. – 1986. – *Le Lias du Quercy méridional : étude lithologique, biostratigraphique, paléoécologique et sédimentologique.* – Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III. – *Strata*, sér. 2, vol. -, 574 p., 201 fig. et 36 Pl.

## Figures

**Figure 1** : Contexte géologique des causses du Quercy.

**Figure 2** : Coupe géologique schématisée entre le golfe de Gascogne et le Quercy

**Figure 3** : Log stratigraphique synthétique de la série sédimentaire quercynoise (Jurassique et Crétacé). Synthèse d'après Astruc *et al.*, 1990 et 1994.

PERIODES Ages en millions d'année (d'après Odin & Odin, 1990)		EVENEMENTS LOCAUX		EVENEMENTS REGIONAUX Orogénie - Tectonique			
QUATERNAIRE	HOLOCENE	0.01	Colluvionnement Gélifration Edification des terrasses Enfoncement des vallées Phases de creusement et de comblement du karst	GLACIATIONS	<b>Distension ? NW-SE</b>  Surrection de 300 environ des causses du Quercy		
	PLEISTOCENE						
TERTIAIRE	NEOGENE	1.65	Début du creusement des hauts couloirs d'érosion : paléo-Lot et paléo-Dordogne	PHOSPHORITES	<b>Assèchement de la Méditerranée au Messinien.</b> <b>Distension NW-SE</b>		
		5					
	PALEOGENE	MIOCENE	7	Fossilisation de nombreuses phosphorites Intallation de vastes lacs d'eau douce Installation de marais. Calcaire lacustres du Quercy Blanc. Formation de St.Denis-Catus	PYRENEES	Effondrement depuis le Bartonien de la bordure orientale du bassin. Orogénie Grésignole Surrection de 100 m environ des causses du Quercy	
		OLIGOCENE	23.5				
		EOCENE	35				
		PALEOCENE	65				
SECONDAIRE	CRETACE	SENONIEN	95	MER	<b>DISTENSION NNW-SSE (ouverture de l'Atlantique nord)</b>		
		TURONIEN CENOMANIEN					
	JURASSIQUE SUPERIEUR	TITHONIEN	135	Retrait de la mer au Tithonien, Installation de lagunes et de sebkhas Dépôts de 250 m de calcaires et de marnes au Kimméridgien		MER	Réorganisation du bassin sédimentaire au Tithonien. Instabilité tectonique au passage Kimméridgien-Oxfordien
		KIMMERIDGIEN	145				
		OXFORDIEN ?	155				
		CALLOVIEN	157				
		BATHONIEN	160				
		BAJOCIEN AALÉNIEN	170				
	JURASSIQUE INFÉRIEUR	TOARCIEN	178	Approfondissement de la mer à partir du Carixien, apparition des ammonites, dépôts de 150 m de calcaires, marnes et argiles. <u>Emersion</u> et karsts au sommet de la "Barre à Pecten".		MER	Activité tectonique des anticlinaux d'Alvignac et de St.-Martin-Labouval et de la faille de Saint-Antonin au Bathonien
		PLIENSBACHIEN	180				
		SINEMURIEN HETTANGIEN	194				
	TRIAS		200	Transgression marine au Carixien fossilisant une surface d' <u>érosion</u> karstifiée lotharingienne. Début de la transgression marine "jurassique".		LAGUNE	
		205					
PRIMAIRE		245	Erosion des montagnes hercyniennes  Volcanites de Lacapelle-Marival Bassins stéphaniens d'Agentat, St.-Perdoux et Figeac  Intrusions granitiques de Tessieu, et des Glénat  Unité de Génis  Unités de Leyme et de St.-Paul de Vern.	Chaîne HERCYNIE	collision de plaques continentales. Jeux des grandes failles bordières Faille de Villefranche Accident d'Argentat. Régession marine Distension du bâti varisque Volcanisme basique à Brise, Tulle, etc.		
	PERMIEN	295					
	CARBONIFERE	340					
	DEVONIEN	360					
	SILURIEN	410					
	ORDOVICIEN	435					
	CAMBRIEN BRIOVERIEN	500					
	1000						

## Histoire géologique du Quercy (J., G. Astruc, 2008)

# Les principales étapes de la morphogenèse caussenarde

Jean-Guy Astruc<sup>1</sup>, Laurent Bruxelles<sup>2</sup> et Régine Simon-Coinçon<sup>3</sup>

1 - Jean-Guy Astruc, Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize. E-mail : [jean.astruc@wanadoo.fr](mailto:jean.astruc@wanadoo.fr).

2 - INRAP, ZAC des Champs Pinsons, 13 rue du Négoce 31650 St-Orens-de-Gameville et CRPPM/TRACES (UMR 5608 du CNRS). E-mail : [laurent.bruxelles@inrap.fr](mailto:laurent.bruxelles@inrap.fr).

3 - Régine Simon-Coinçon, Géosciences, Ecole des Mines de Paris, CIG, 35 rue St-Honoré, 77305 Fontainebleau et UMR 7619 du CNRS Sisyphe "Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux". E-mail : [rsimon@geosciences.ensmp.fr](mailto:rsimon@geosciences.ensmp.fr).

## I – Synthèse de l'histoire géologique et géomorphologique des causses du Quercy

Nous ferons débiter cette histoire au Trias, à l'aube d'un grand cycle sédimentaire qui va se prolonger jusqu'à la fin du Jurassique.

Au Trias et au début de l'Hettangien, des dépôts détritiques appartenant à un épandage fluvial constituent les premiers termes de cette séquence. Puis, sous une faible tranche d'eau, des dépôts à évaporites (gypse, sel gemme) suivis par des niveaux carbonatés augurent d'une sédimentation marine de plus en plus marquée.

Pendant le Jurassique moyen la sédimentation s'opère, au moins au début, sur une vaste plateforme carbonatée, fracturée par une tectonique en distension et isolée de l'Atlantique par un haut-fond (barrière oolithique) localisé sur l'actuel Périgord (Durand-Delga, 1979). Ainsi l'intervalle Bajocien-Bathonien marque, jusqu'à la discontinuité intra-bathonienne, une évolution régressive.

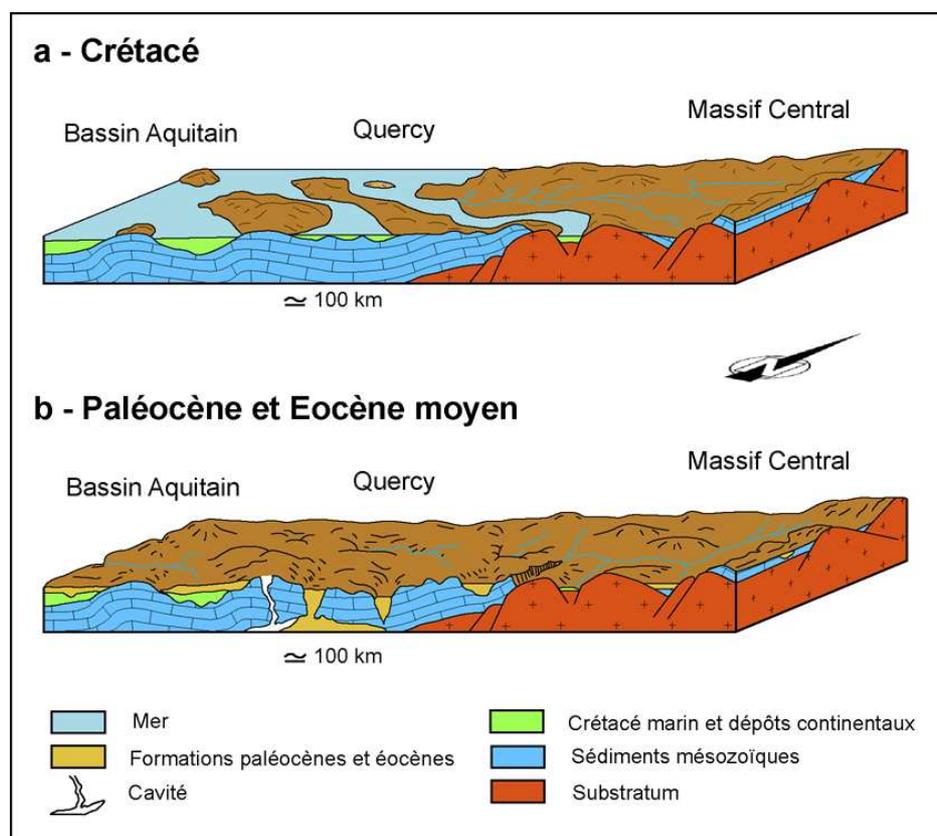
La tendance devient ensuite transgressive avec un approfondissement brutal de la mer, enregistré dans les calcaires du Bathonien terminal s'accroissant jusqu'à l'Oxfordien inférieur avec les calcaires oolithiques de la formation de Saint Gery, puis à tendance régressive. Ce cycle sédimentaire s'achève avec la discontinuité sédimentaire intra-oxfordienne au sommet des calcaires à Astartes.

Avec l'Oxfordien supérieur la bathymétrie augmente à nouveau jusqu'au Kimméridgien supérieur puis décroît jusqu'à l'émersion au Tithonien en liaison avec les phases précoces de la tectonique alpine.

Pendant le Crétacé inférieur, l'érosion attaque le substratum jurassique alors émergés. Au Crétacé supérieur (fig. 1a), la mer revient sur le causse et fossilise une ancienne topographie différenciée sur laquelle ont pu s'opérer les premières karstifications. Le caractère marin s'affirme jusqu'au Turonien avant une nouvelle régression qui aboutira au retrait définitif de la mer au Campanien.

Dès le Paléocène (fig. 1b et 2a), le soulèvement de la partie nord-est du bassin aquitain soumet le Quercy à l'érosion et à la karstification (Astruc, 1988). Tous les drainages convergent vers des bassins endoréiques tels que le bassin de Martel ou ceux des Maurs, d'Asprières ou de Varen (fig. 3 a ; Astruc *et al.*, 1995 et 2000). A partir de l'Eocène supérieur jusqu'au Miocène (fig. 2b à 2d), la formation des Pyrénées conduit à l'accumulation à leur pied d'une grande quantité de dépôts détritiques. Pendant ce temps, le Quercy subit, sous un climat tropical chaud et humide, une importante altération. Elle s'attaque aux formations

jurassiques, mais surtout aux dépôts du Crétacé supérieur qu'elle affecte parfois sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur (Simon-Coinçon *et al.*, 1997).



**Figure 1** : Bloc diagramme montrant l'état de la région quercynoise au cours du Crétacé et pendant la première partie du Tertiaire (d'après Simon-Coinçon, 1989).

A partir de l'Eocène moyen, peut-être du Bartonien, l'orogénèse pyrénéenne engendre une série de plis de direction E-W. Avec la subsidence du bassin d'Aquitaine, ces structures de faible amplitude suffisent néanmoins pour réorganiser l'orientation des drainages. La plupart des écoulements se dirigent en direction du sud-ouest (fig. 3b). Un drain principal orienté nord-sud traverse le Quercy en direction du "Golfe de Cieurac" et a laissé d'importants dépôts siliceux : la formation de Saint-Denis-Catus. En bordure du causse, de nombreuses émergences du karst des phosphorites doivent également rejoindre le même rivage. A la même époque, les dépôts molassiques d'origine pyrénéenne s'avancent en direction du nord (fig. 2b). Progressivement, ils bloquent les circulations fluviales et provoquent la formation de lacs autour des reliefs karstiques du Quercy (Gèze, 1938 ; Cavaillé, 1974 ; Renault *et al.*, 1992). Cette remontée du niveau de base fossilise progressivement les cavités et provoque le colmatage du karst des phosphorites.

La molasse à dominante carbonatée recouvre ensuite complètement les causses du Quercy, depuis la fin de l'Oligocène (fig. 2c) et pendant l'ensemble du Miocène (fig. 2d). Elle scelle le karst pendant cette longue période.

A partir du Burdigalien (Miocène), des cours d'eau, dirigés par la structuration acquise au Paléogène, s'organisent en traversant le Quercy d'est en ouest, préfigurant le réseau hydrographique actuel (fig. 3c). La première incision par le proto-réseau hydrographique dans les formations jurassiques et paléogènes du NE du Bassin Aquitain a été traditionnellement attribué au Plio-Villafranchien. Les découvertes récentes de gisements paléontologiques

associés à des sédiments fluviaux sur les Causses du Quercy (Sigé *et al.*, 1991), conduisent à vieillir le proto-réseau hydrographique, qui aurait commencé de s'installer dès le Burdigalien.

Au Pliocène et au Quaternaire (fig. 2e), la reprise du soulèvement du Massif Central donne l'énergie suffisante au réseau hydrographique pour éroder les dépôts molassiques. Le nord du Quercy est d'abord dégagé. La karstification reprend donc dans cette partie plus précocement, alors que la partie sud est encore cachetée par la molasse.

En surface, les cours d'eau qui sillonnent le causse, et dont on retrouve quelques formes fossiles, incisent la surface du plateau. Alors que la plupart des écoulements sont absorbés par le karst, seules les vallées des cours d'eau principaux réussissent à conserver un écoulement aérien et à s'affranchir, au moins *pro parte*, du soutirage karstique.

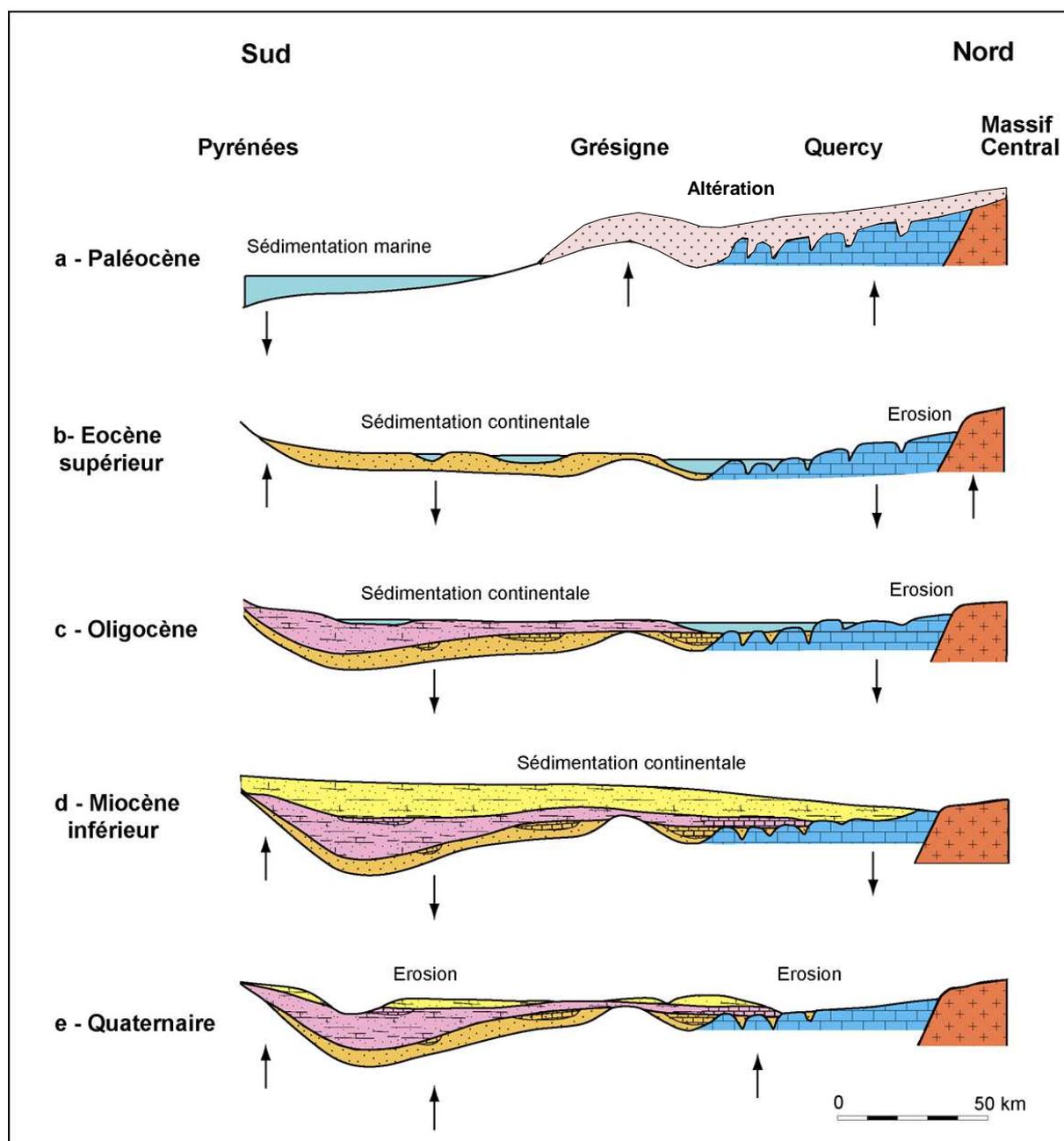


Figure 2 : Evolution schématique entre les Pyrénées et la région de Brive pendant le Tertiaire et le Quaternaire (d'après Astruc, 1986).

## 2 – Les grands épisodes de karstification des plateaux

Dès son émergence, une formation calcaire est soumise à la karstification. Celle-ci se traduit par la mise en place d'un paysage karstique et par la formation de cavités lorsque les conditions de potentiel chimique, de tectonique et de gradient hydraulique sont réunies. Le causse de Gramat a connu plusieurs longues périodes d'émergence pendant lesquelles se sont mises en place des morphologies et des cavités que l'on peut aujourd'hui encore identifier. Au fil des temps géologiques, ces formes s'effacent mutuellement, se superposent et se recourent. Elles constituent l'héritage karstique du causse. Trois principales phases de karstification peuvent être distinguées.

### II.1 – La karstification fini-Jurassique – Crétacé supérieur (Cénomanién)

Les dépôts terminaux du Tithonien présentent un faciès régressif et clôturent un très long épisode de sédimentation marine. Une lacune de 40 millions d'années les sépare de la prochaine transgression qui débute à la base du Cénomanién. Sous un climat chaud et humide, l'altération et l'érosion ont attaqué les entablements calcaires alors émergés et ont fait disparaître près de 200 mètres de terrains jurassiques (Astruc, 1988 ; Simon-Coinçon, 1990 ; Astruc et Simon-Coinçon, 1992). A partir du Coniacien, cet ancien paysage a été fossilisé par les dépôts marins du Crétacé supérieur.

Les phases d'érosion postérieures qui ont progressivement exhumé ces morphologies ont révélé l'existence d'un paléo-relief de karst à buttes et de vastes dépressions (Simon-Coinçon et Astruc, 1991). Aucune cavité datant de cette phase de karstification n'a pour l'instant été identifiée dans le Quercy.

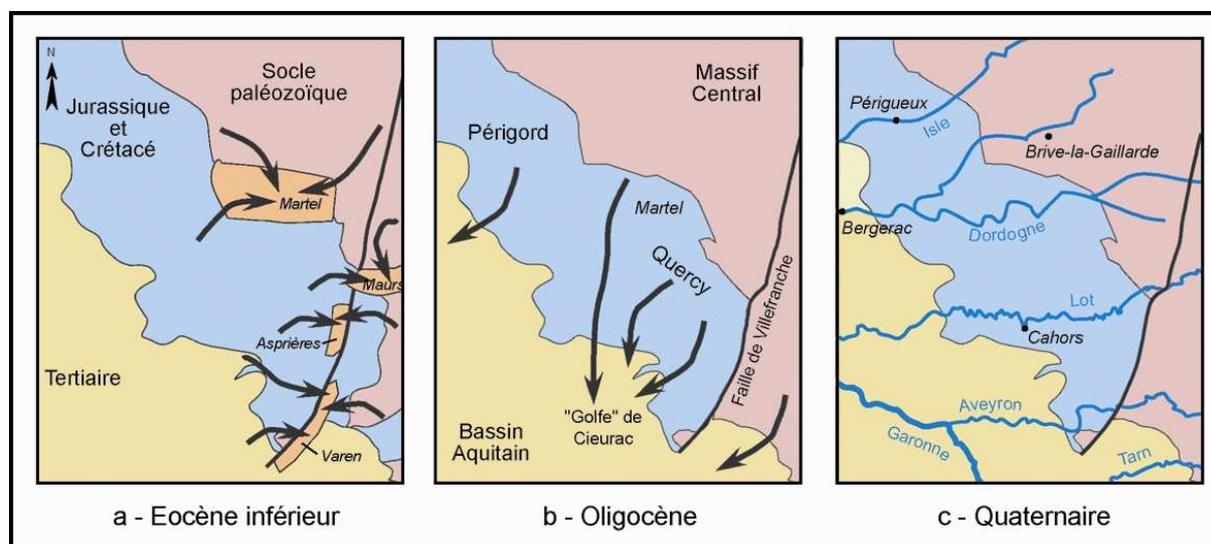


Figure 3 : Mise en place et organisation du drainage depuis le Paléogène (Jean-Guy Astruc).

### II.2 – La karstification paléogène (Crétacé terminal – Oligocène)

Au Crétacé terminal, la mer quitte définitivement le Quercy qui évolue alors en domaine continental pendant près de trente millions d'années.

A la fin du Crétacé, au fur et à mesure du retrait de la mer, l'altération des dépôts conduit au développement de cuirasses ferrugineuses ou siliceuses. En même temps, sous la couverture altérée des sédiments du Crétacé supérieur, la karstification est très active comme le montrent

les nombreuses dolines-puits colmatées de sables argileux. Ces formes très spectaculaires comme la cuvette de Lauzerte (Soulomès) peuvent dépasser 500 m de diamètre. C'est également pendant cette période que se mettent en place des conduits karstiques du type de Pech Merle, Coudoulous ou Roucadour. La taille des galeries et leur organisation laissent penser que les conditions géologiques et climatiques étaient très favorables à la karstification. Une grande quantité d'eau plutôt acide provenait à la fois des massifs cristallins à l'est et de l'*impluvium* du plateau lui-même, recouvert de plusieurs mètres d'altérites argilo-sableuses. L'abaissement du niveau de base a fourni l'énergie nécessaire à la mise en place de ce karst dont on retrouve des témoins à différentes altitudes dans la Bouriane, et sur les causses de Martel et de Gramat.

Dès la fin de l'Eocène, la remontée du niveau de base et la progradation molassique ont réduit progressivement l'activité karstique. L'endokarst s'est colmaté par des dépôts fins qui traduisent une dynamique hydraulique moindre. Les cavités ouvertes et partiellement ennoyées par la remontée du niveau de base (de type cenotes), vont former les futures phosphorites du Quercy. Certaines d'entre-elles sont connues à l'extrémité sud du causse de Gramat mais le plus grand nombre est situé sur le Causse de Limogne.

A milieu de l'Oligocène, la progradation lacustre bloque complètement le karst qui reste scellé pour une dizaine de millions d'années jusqu'au début du Miocène.

### **II.3 – La karstification miocène et quaternaire**

Du début du Miocène (Burdigalien) jusqu'à nos jours, plusieurs phases d'érosion (Aguilar, Michaux, Péliissié et Sigé, 2007) ont conduit au déblaiement de la couverture molassique et au creusement des vallées. Concomitamment, de nombreux paléokarsts sont recoupés par la surface topographique et une grande partie de ces cavités sont réutilisées par les nouvelles circulations. Ce décapage s'opère progressivement du nord vers le sud ce qui a permis aux karsts les plus méridionaux (sud du causse de Gramat, causse de Limogne) de conserver leurs anciens remplissages et notamment les phosphorites.

Le creusement des vallées (Dordogne, Lot et Aveyron) démarre dès la fin du Tertiaire. Elles connaissent également cette évolution différentielle, de plus en plus tardive vers le sud. L'abaissement du niveau de base et donc des principales circulations karstiques, provoque l'abandon des anciens conduits phréatiques. Exondés, partiellement vidés de leurs remplissages sablo-argileux initiaux, ils font désormais partie des nombreuses cavités fossiles que l'on retrouve à faible profondeur sous la surface du plateau. Assez souvent, l'épaisseur de calcaire entre le toit de la cavité et la surface devient très faible et la voûte s'effondre. Des dolines associées à ces cavités constituent parfois le prolongement effondré de la galerie (grotte de Roucadour). Dans les parties encore préservées, un concrétionnement calcitique massif ainsi que l'accumulation de gélifracts obturent ponctuellement ces anciens conduits. Seul le soutirage, en rapport avec les circulations actuelles plus profondes, rend localement accessibles certains tronçons de ces paléo-réseaux.

## **Bibliographie**

AGUILAR J.-P., MICHAUX J., PÉLISSIÉ T. et SIGÉ B. – 2007. Early late pliocene paleokarstic fillings predating the major plio-pleistocene erosion of the Quercy table, SW France. – Acta Carstologica 33/6, 469-473, Postojna 2007.

ASTRUC J. G. – 1988. – *Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Doc. BRGM, n°133, 149 p.*

ASTRUC J.-G. et MARANDAT B. – 1995. – Le Garouillas et les sites contemporains (Oligocène, MP 25), les phosphorites du Quercy (Lot, Tarn-et-Garonne, France) et leur faune de vertébrés. 1. Les gisements et leur contexte géologique, *Palaeontographica*, Abt. A, n°236, Lfg 1-6 – 1-9, Stuttgart, 08-1995, 9 p. + 6 fig.

ASTRUC J.-G., ESCARGUEL G., MARANDAT B., SIMON-COINÇON R. et SIGE B. – 2000. – Floor-age constraining of a tectonic paroxysm of the Pyrenean orogen. Late middle Eocene mammal age of a faulted karstic filling of the Quercy phosphorites, south-western France, *Geodinamica Acta*, vol. 13, p. 271-280.

CAVILLE A. – 1974. – La région des phosphorites du Quercy. – *Paleovertebrata*, vol. 6, p. 5-19.

DURAND-DELGA M. – 1979. – Documents sur la géologie de la Grésigne. – Pub. Ass. prof. bio. géol., Toulouse, 32 p.

RENAULT Ph., SIMON-COINÇON R. et ASTRUC J.G. – 1992. – Problèmes des causses du Quercy. – In : *Karst et évolutions climatiques, hommages à J. Nicod*. Presses Universitaires de Bordeaux, p.469-496.

SIGE B., AGUILAR J.-P., et MARANDAT B. – 1991. – Extension au Miocène inférieur des remplissages phosphatés du Quercy, la faune de vertébrés de Crémat (Lot, France), *Geobios*, n° 24, fasc. 4, p. 497-502.

SIMON-COINÇON R. – 1990. – Aplanissements et paléotopographies du sud-ouest du Massif Central : genèse et marqueurs. – In : *La terre et les hommes. Mélanges offerts à Max Derruau*. Faculté des Lettres et Sciences appliquées de l'Université Blaise Pascal, fascicule 2, p. 45-62.

SIMON-COINÇON S. et ASTRUC J.G. – 1991. – Les pièges karstiques en Quercy : rôle et signification dans l'évolution des paysages. – *Bull. Soc. Géol. France*, t. 162, n° 3, p. 595-605.

SIMON-COINÇON S., THIRY M. et SCHMITT J.M. – 1997. – Variety and relationships of weathering features along the early Tertiary palaeosurface in the south-western French Massif Central and the nearby Aquitaine Basin. – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 129, p. 51-79.

## HYDROGÉOLOGIE DU QUERCY

Extrait de « *Causses du Quercy* » Par Jean-Guy ASTRUC, avec la contribution de Jean-Paul FABRE, Pierre MARCHET, Philippe MUET, Thierry PÉLISSIE, Michel PLAUD, André TARISSE (in « *Aquifères et eaux souterraines en France* » Sous la direction de Jean-Claude ROUX, éd. BRGM / AIH, 2006)

La lithologie du Quercy détermine l'hydrogéologie de cette région qui est essentiellement constituée par des aquifères karstiques.

Hormis les cours d'eau exogènes formant le niveau de base régional (Dordogne, Lot et Célé, Aveyron), les écoulements sont essentiellement souterrains, à l'origine de puissantes émergences karstiques comme les sources de l'Ouyse ou la Fontaine des Chartreux à Cahors.

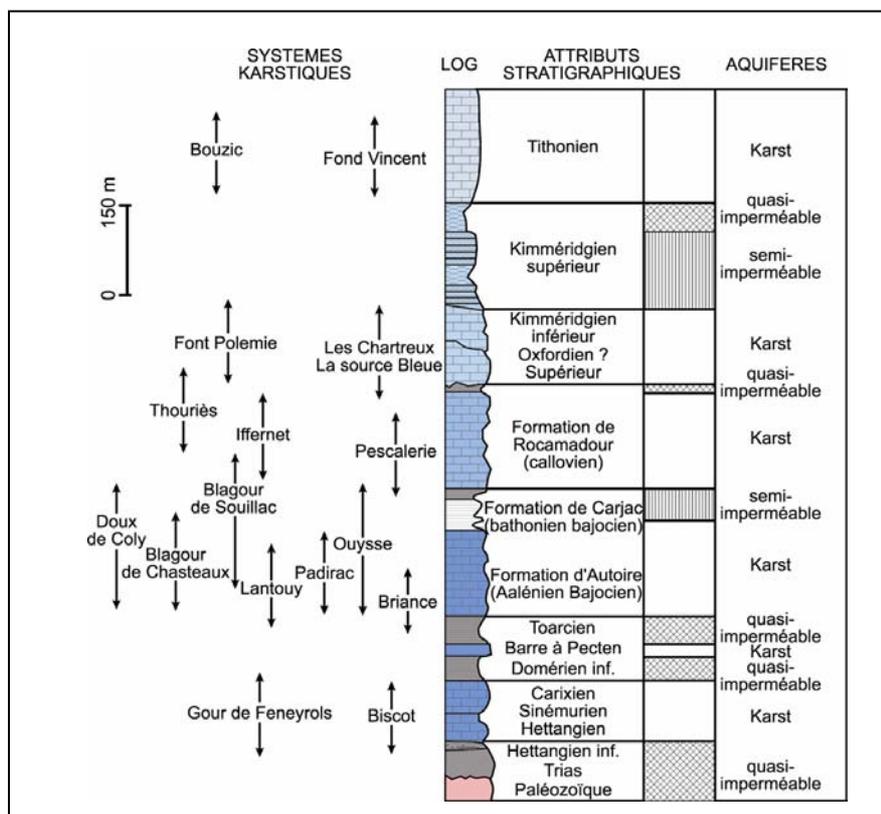


Figure 1 : Log hydrogéologique et localisation des systèmes karstiques notoires dans le Jurassique des Causses du Quercy (J.-G. Astruc, complété par P. Marchet pour le Causse de Martel, 2002).

La figure 1 synthétise l'hydrogéologie du Quercy limitée à l'essentiel, c'est-à-dire aux aquifères jurassiques. On y distingue trois groupes de formations aquifères, toutes de type karstique, dont le groupe principal est centré sur le Dogger et le Malm. Un quatrième groupe (hors figure) concerne les aquifères du Crétacé qui bordent le Quercy proprement dit au Nord-Ouest. De haut en bas, on distingue les systèmes suivants :

**a) Les aquifères du Crétacé** affleurent seulement sur la marge nord-ouest du Quercy. Ces formations constituent des aquifères limités au mur par les terrains argileux du Kimméridgien. La variété des faciès crétacés différencie cet aquifère de ceux sous-jacents. Ainsi on observe la présence de niveaux détritiques, intercalés dans les calcaires, et responsables de la proximité de réservoirs à porosité d'interstices et de réservoirs karstiques (tabl. 1).

Réservoirs	Lithologie	Type de réservoir	Débits des sources
Sénonien	Calcaires gréseux et bio-clastiques	Karst très développés	Étiage - 10 l/s
Turonien supérieur	Calcaires gréseux et sables	Karst et porosité d'interstices	Sources nombreuses < 5 l/s
Turonien inférieur et Cénomaniens	Calcaires crayeux Calcaires bio-clastiques	Porosité d'interstices Micro-karst	Rares sources < 2 l/s Rares sources < 1 l/s

Tableau 1 : Caractéristiques des réservoirs du Crétacé

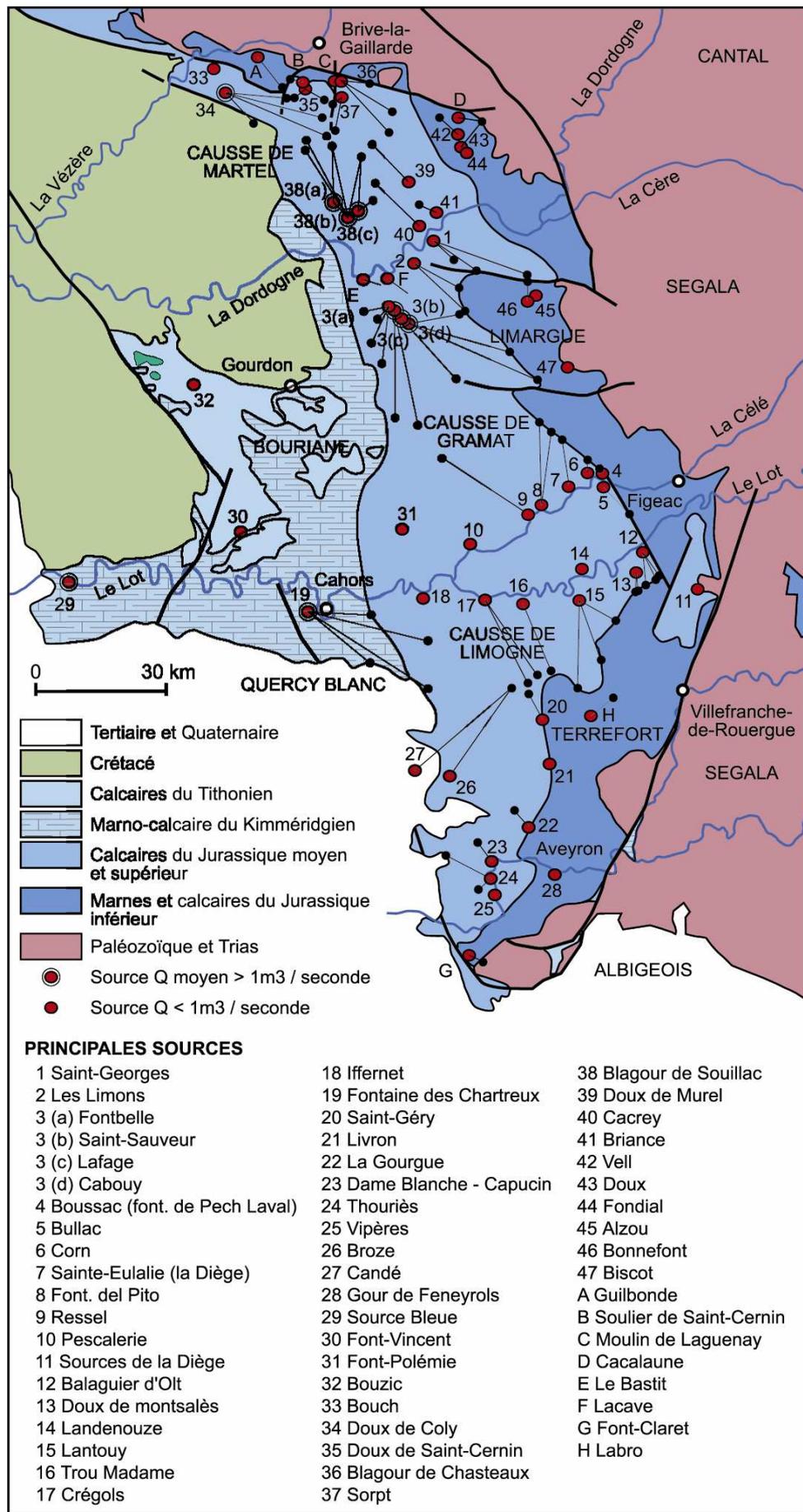


Figure 2 : Environnement géologique des Causse du Quercy, localisation des principales sources et des traçages (J.-G. Astruc, complété par P. Marchet, 2003, d'après Carte hydrogéologique du Quercy, J.-G. Astruc et J.-C. Soulé, 1977).

**b) L'aquifère karstique du Tithonien** est localisé sur la marge occidentale du Causse de Gramat où il forme plusieurs petits causses satellites : causses de Crayssac, de Mongesty, et de Florimont-Gaumier. Ce réservoir est limité au mur par les marnes kimméridgiennes et au toit par les calcaires crayeux, moins perméables, du Crétacé supérieur.

La morphologie de ce réservoir est complexe, souvent noyé dans la vallée du Vert et de la Masse (sources de Saint-Médard-Catus ou des Arques), il peut être perché en se rapprochant de l'anticlinal de Campagnac-les-Quercy. La source de Bouzic (Dordogne) draine un système karstique qui développe plus de 10 km de galeries explorées. Les sources de cet aquifère ont un débit d'étiage généralement inférieur à 20 l/s.

**c) Le Jurassique moyen et supérieur basal** constitue l'**aquifère principal karstique du Quercy**, qui peut être multicouche.

Des communications intercouches peuvent cependant se produire localement à la faveur de la fracturation ou de la réduction d'épaisseur des faciès argilo-marneux intercalés, comme c'est le cas dans le causse de Martel. D'autre part, les écoulements issus des sources de flancs de vallées sèches drainant les couches supérieures sont souvent re-capturés par des pertes alimentant les sources plus importantes voisines du niveau de base régional.

À partir d'une zone d'alimentation localisée à l'Est du méridien de Cahors, cet aquifère devient captif ; il est exploité par forages dans l'Agenais, 80 km plus à l'Ouest.

Dans la vallée du Lot, en aval de Cahors, de grosses émergences dont le débit d'étiage est supérieur à 1 m<sup>3</sup>/seconde (Les Chartreux, Source Bleue de Soturac-Touzac), sont alimentées partiellement par le Lot et ses affluents mais sont semi-captives sous le toit des marnes du Kimméridgien supérieur, exutoires locaux du réservoir jurassique.

Sur la périphérie des causses quercynois ou à proximité des grandes vallées, il y a de nombreuses autres sources karstiques, parfois utilisées pour les adductions d'eau potable. Le système karstique le plus important est celui des sources de l'Ouyse (Causse de Gramat) dont le débit d'étiage est supérieur à 1 m<sup>3</sup>/s.

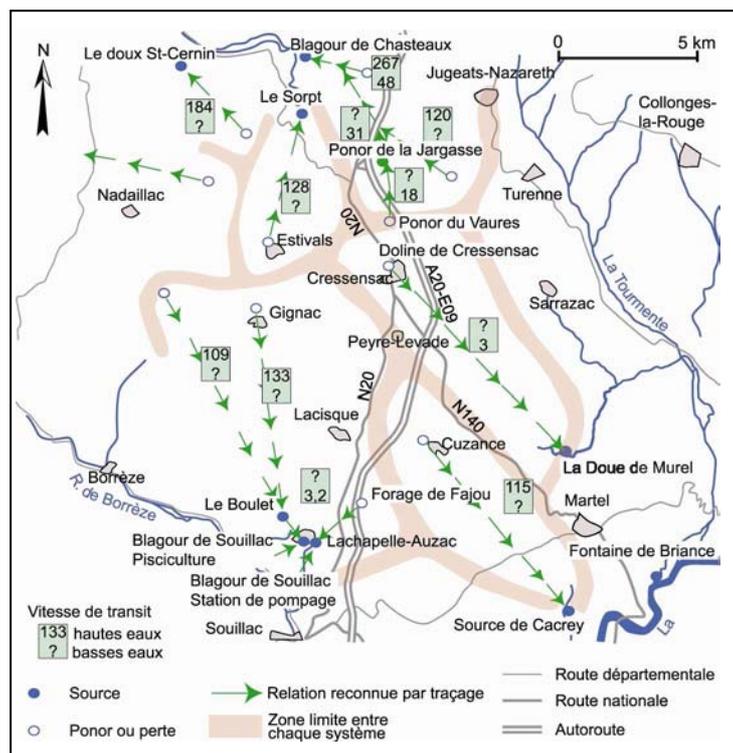


Figure 3 : exemple des limites des systèmes hydrogéologiques du Causse de Martel (Ph. Muet, *Ain Géotechnique pour ASF*, 1995).

**d)** Au-dessus des formations détritiques ou argileuses de la base (Hettangien basal ou Trias supérieur ?) qui constituent un mur imperméable, les dépôts carbonatés de l'Hettangien, du Sinémurien et du Lotharingien constituent l'**aquifère du Lias inférieur** à porosité de fissures et de chenaux karstiques (fig. 1). Il affleure largement à l'Est des causses, limité au Nord par le bassin permien de Brive-la-Gaillarde et au Sud par l'anticlinal de la Grésigne.

Au Nord de la Dordogne, il faut citer notamment les sources du Doux, du Vell, la Fondial.

Au Sud de la Dordogne, les sources de Bonnefont et de l'Alzou, exutoires de systèmes karstiques établis dans les dolomies et les calcaires de l'Hettangien et du Sinémurien, drainent un bassin d'alimentation qui se localise à l'Est - Sud-Est de Padirac.

En direction de l'Ouest, cet aquifère s'enfonce assez rapidement sous le Lias moyen et supérieur argilo-marneux pour constituer un aquifère captif. Les sources minérales, anciennement exploitées, de St-Michel-de-Bannières, Miers-Alvignac et Saint-Antonin-Noble-Val, aux eaux sulfatées-sodiques et magnésiennes, en sont issues. Ces eaux se minéralisent au contact des évaporites de l'Hettangien et remontent vers la surface par des failles. Il existe également, au sein des formations marneuses du Lias supérieur, un aquifère karstique dans le Pliensbachien supérieur calcaire (barre à Pecten), drainé par des sources d'un débit d'étiage généralement inférieur à 1 l/s.

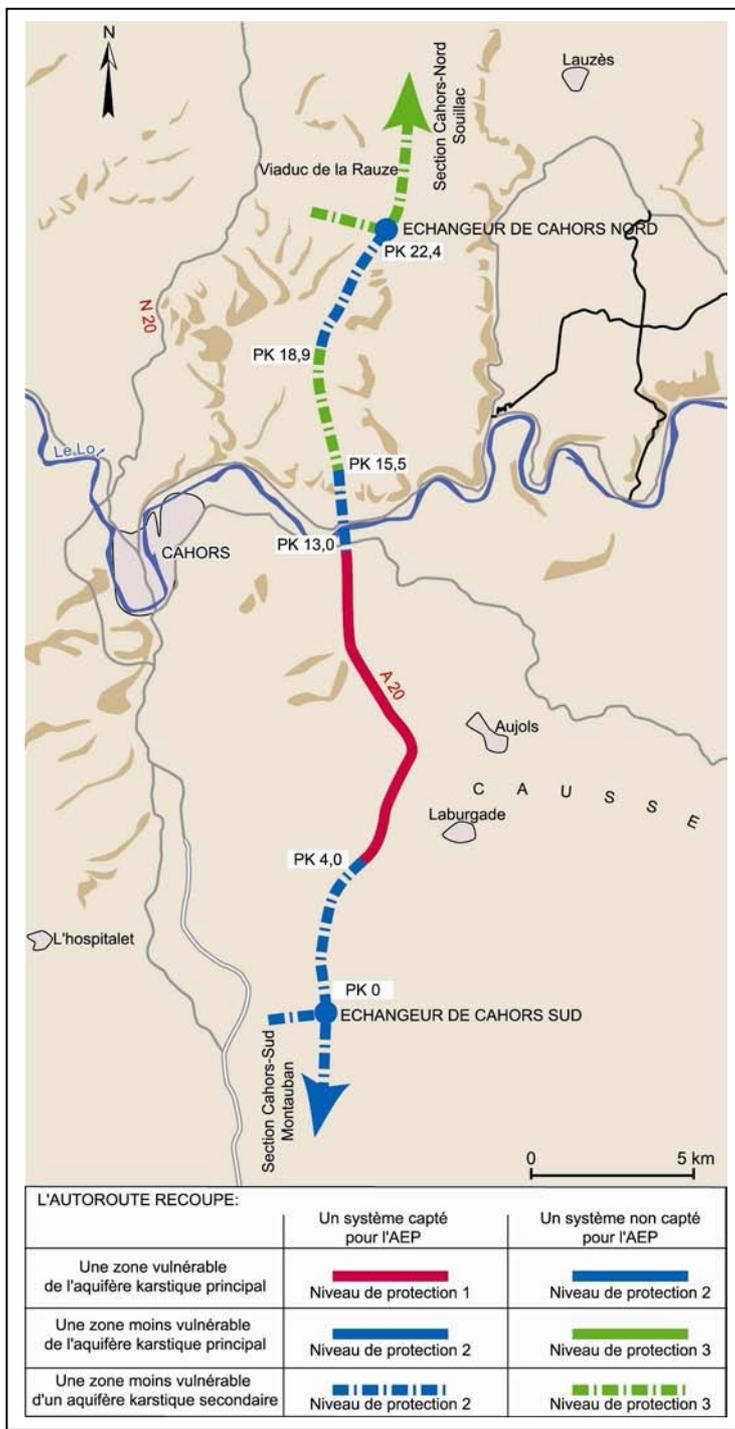


Fig. 4 : Degrés de vulnérabilité de l'aquifère karstique dans les Causses de Gramat et de Limogne et niveaux de protection de l'Autoroute A20 (BURGEAP pour ASF, 1996).

Le grand aménagement que constitue l'autoroute A20, réalisé à la fin des années 90, qui traverse les Causses du Nord au Sud, représentait un risque important de pollutions chroniques et/ou accidentelles pour les eaux de l'aquifère karstique. Des études hydrogéologiques approfondies ont permis de mettre en place dans les secteurs les plus vulnérables des équipements de prévention des pollutions.

En résumé, on retiendra que dans ce milieu globalement vulnérable, on distingue des zones extrêmement sensibles (axes majeurs de drainage, zones fracturées, etc. ...) au sein de zones où les terrains de surface assurent une bonne protection des ressources en eau sous-jacentes ; d'où l'intérêt d'en réaliser une cartographie précise.

Collectivité	Captage	Volume annuel moyen prélevé (m <sup>3</sup> /an)
Commune de Brive-la-Gaillarde	Doux de Saint-Cernin	1 300 000
SIE du Coiroux	Forage vallée Entrecors	1 000 000
SIAEP du Blagour	Blagour de Souillac Castinière	500 000
SIAEP région de Condat Le Lardin	Forage Coly	750 000
SIAEP Causse Terrasson	Forages Peyrenegre	40 000
Commune de Souillac	Source de Bezet	180 000
Synd. Bourianne Payrac Causse	Fontbelle	700 000
Commune de Gramat	Bedes	480 000
SIAEP Francoulès	Font Polemie et Boucayrac	270 000
SIE Pescalerie	Pescalerie	130 000
SIAEP Causse Sud Gramat	Pito	350 000
SIAEP Vallée du Célé	Bulac	90 000
Commune de Cajarc	Landenouze	190 000
SIAEP Iffernet	Source Iffernet	250 000
SIAEP Iffernet	Forage du Gué Tréboulou	150 000
Commune de Cahors	Chartreux	3 500 000
SAEP Canton Caylus	Saint-Géry	160 000
SAEP Canton Caylus	Livron Grotte	170 000
SAEP Canton Caylus	Livron Source	40 000
SIAEP Montpezat-Puylaroque	Cande	1 000 000
SIE de Saint-Antonin	Gourgue	350 000
SIE de Saint-Antonin	Thouries	30 000
Commune de Penne	Sources + puits 22 m + rivière sout.	60 000

Tableau 2 : Principaux prélèvements d'eau potable dans le karst du Quercy (AEAG).

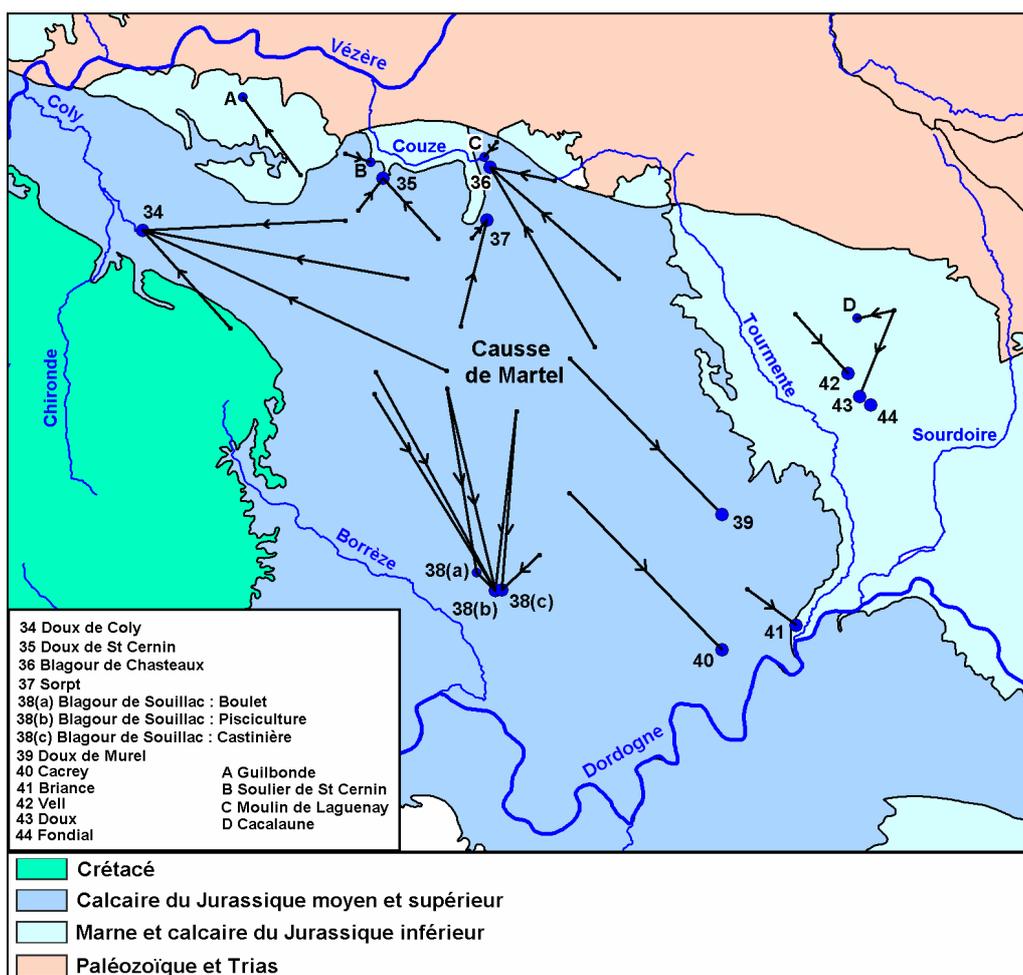


Fig. 5 : Principaux traçages connus en 2003 : Causse de Martel

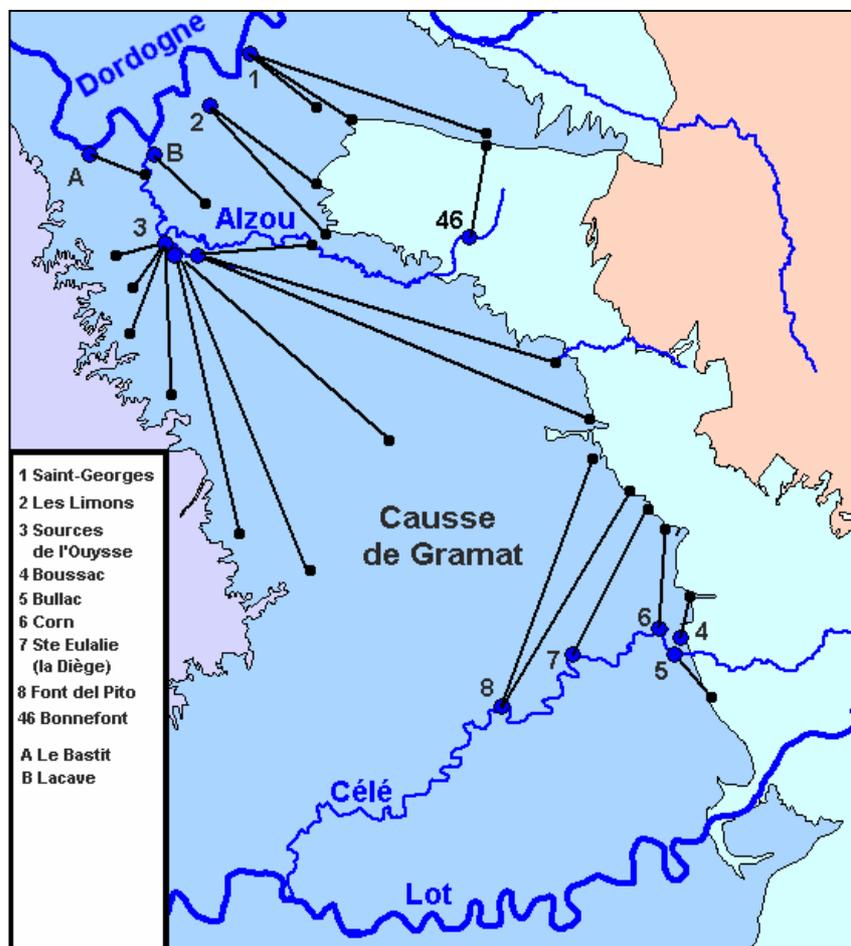


Fig. 6 : Principaux traçages connus en 2003 : Causse de Gramat

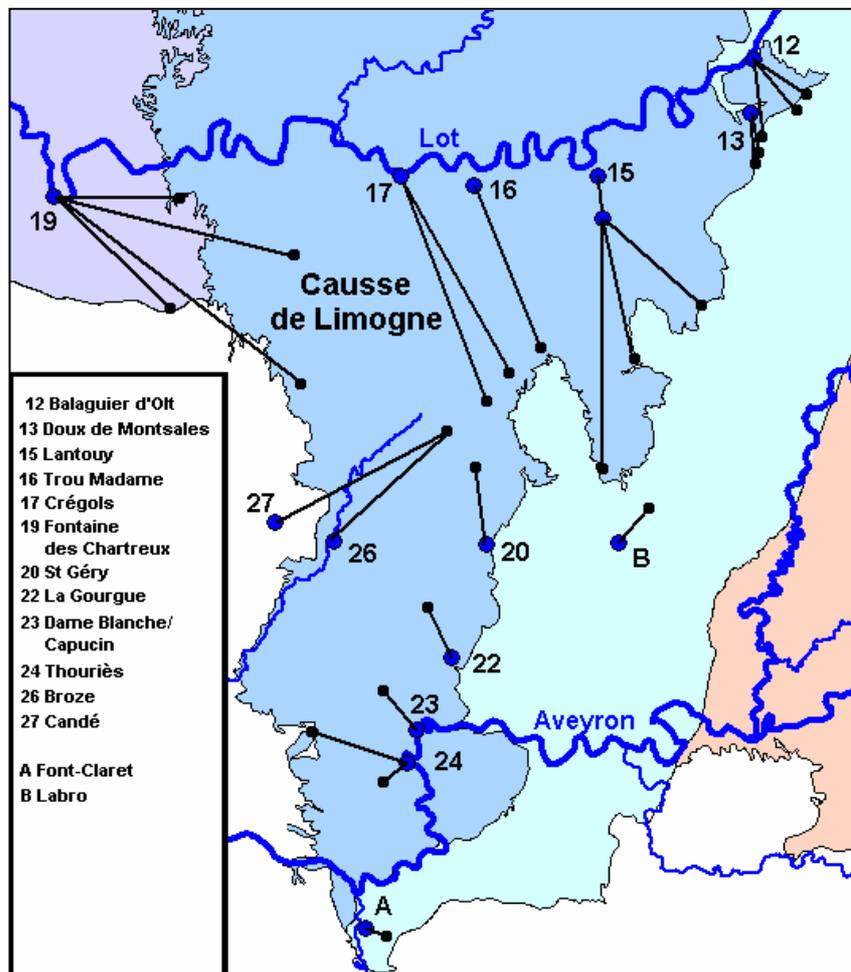
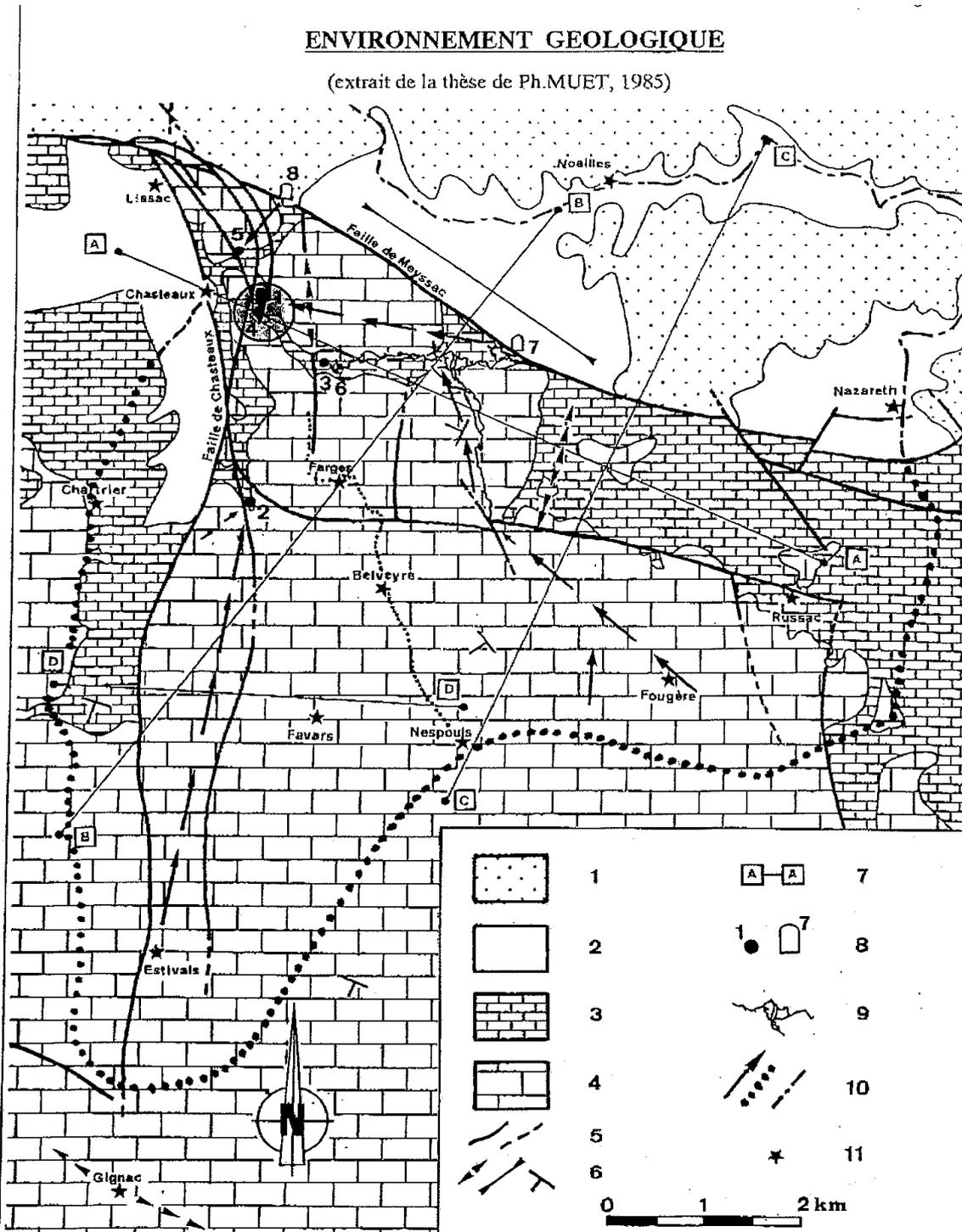


Fig. 7 : Principaux traçages connus en 2003 : Causse de Limogne

**Arrêt n°1 : Blagour de Chasteaux et Forages d'Entrecors (Philippe Muet – GINGER environnement - p.muet@gingergroupe.com)**

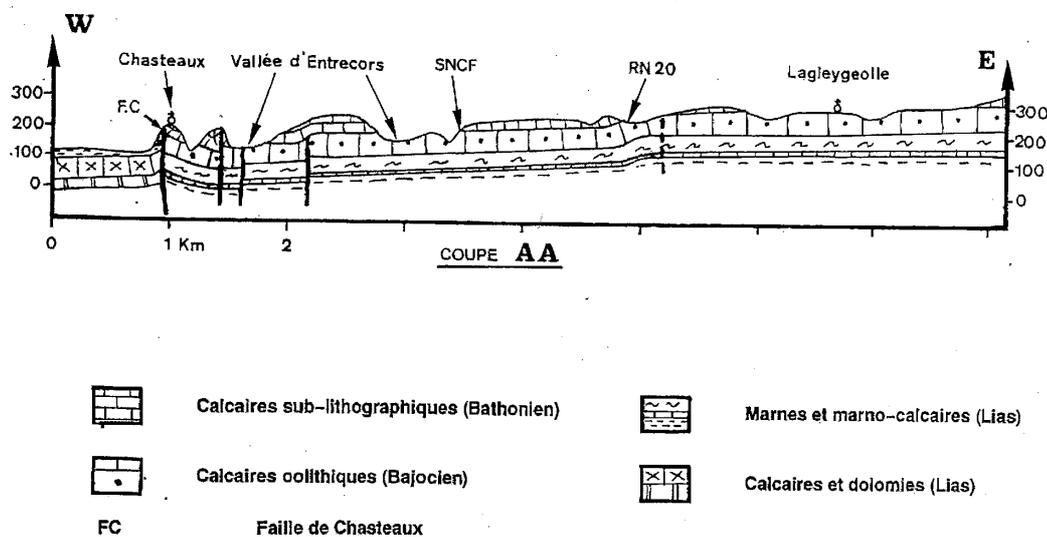
Le Blagour de Chasteaux et les sources connexes sont les exutoires d'un système karstique binaire de plus de 60 km<sup>2</sup>. La source du Blagour, proprement dite, a été captée pour l'alimentation en eau potable après la sécheresse de 1976. Compte-tenu de la très grande variabilité de la qualité des eaux et des forts pics de turbidité, un traitement complet de type A3 (eau de surface) a été mis en place.



1 : Grès et argiles. 2 : Dolomies, cargneules, marnes. 3 : Calcaires oolithiques et bioclastiques. 4 : Calcaires à pâte fine, à interlits mameux. 5 : Failles ; failles supposées. 6 : Flexures anticlinales, axe syndinal, sens du pendage général des couches. 8 : Sources ; pertes. 9 : Réseau spéléologique de la Couze. 10 : Traçages ; limites du système karstique ; limites topographiques de la partie non-karstifiée. 11 : localités.

## COUPE GEOLOGIQUE DU NORD-EST DU CAUSSE DE MARTEL

(extrait de la thèse de Ph.MUET, 1985)



Dans les années 1990, la DDAF de la Corrèze a proposé au SIAEP du Coiroux de compléter voire de remplacer les prélèvements directs dans la source par un ou plusieurs forages. Les avantages attendus étaient :

- ✓ augmenter les prélèvements pour assurer les besoins en eaux du syndicat,
- ✓ capter une eau d'une qualité plus constante,
- ✓ limiter l'étendue des périmètres de protection.

La société AIN GEOTECHNIQUE a été chargée d'une étude de faisabilité en 1991, puis du suivi de sondages de reconnaissance en 1992 et enfin de la conception et du forage d'exploitation en 1994.

La présence d'une importante réserve exploitable située dans la partie basse du système (5 à 6 millions de m<sup>3</sup>) avait été mise en évidence dès 1985 (P.MUET – Structure et fonctionnement de deux systèmes aquifères karstiques du nord du Causse de Martel). La présence de sources satellites (Cressonnières du Blagour et Source de Fontilles) d'un débit et de qualité moins variable que ceux du Blagour semblait montrer que cette réserve se situait plutôt sous la vallée d'Entrecors latéralement au drainage principal. En fait cette partie du système est, en basses eaux, déconnectée des écoulements drainés par la source. Elle a alors son propre impluvium (prouvé par traçage). En revanche, en hautes eaux des trop-pleins du système principal de drainage réalimentent ce réservoir.

Avant d'implanter des sondages de reconnaissance une étude structurale et géophysique a été menée.

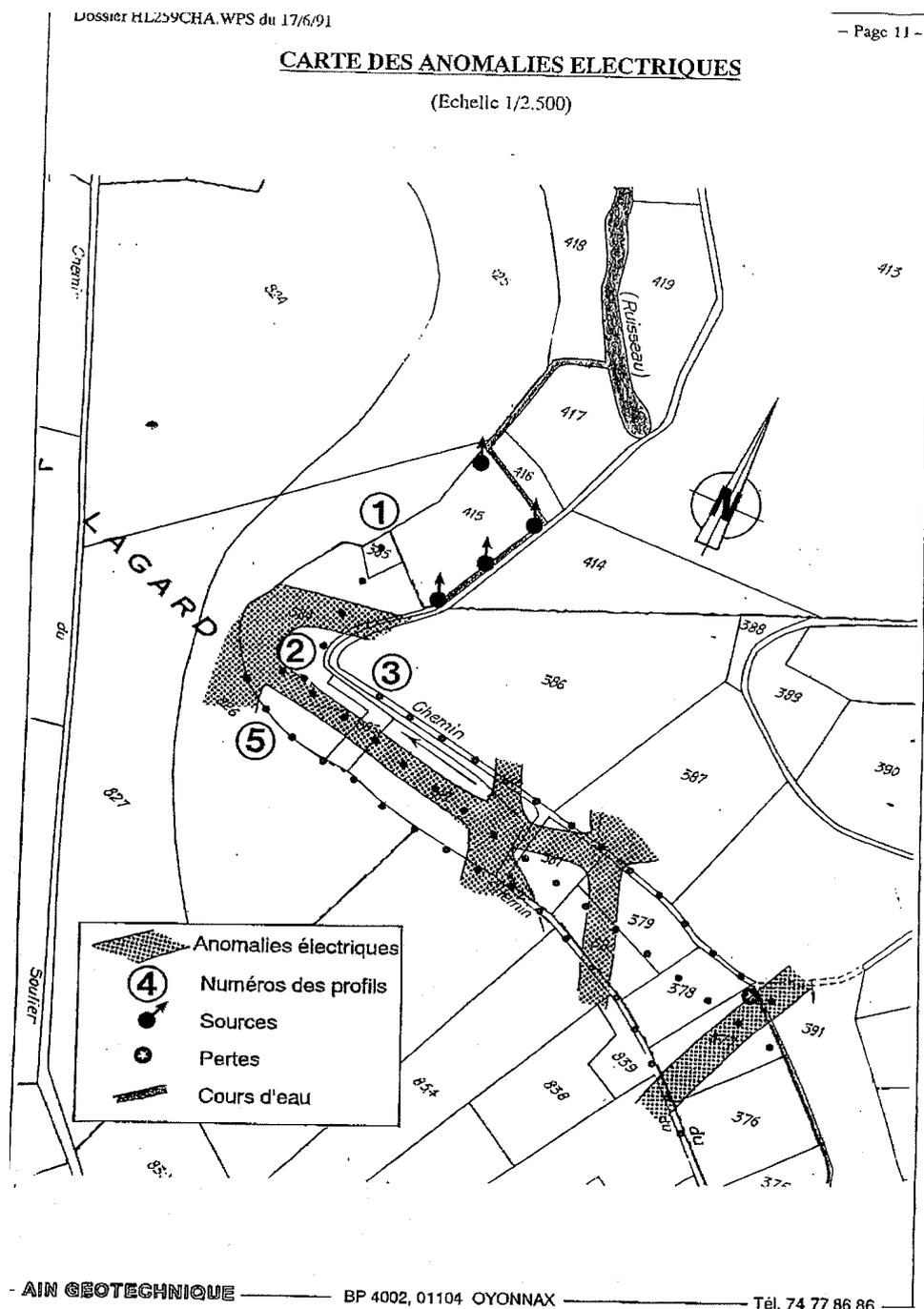
L'étude structurale a complété les travaux universitaires et a montré la présence d'une faille au niveau de l'angle droit que fait la vallée d'Entrecors.

La prospection géophysique a consisté à réaliser :

- ✓ quatre sondages électriques,
- ✓ cinq trainés électriques avec la méthode dite « tri-potentielle » à l'aide d'un dispositif wenner (AB = 60 m).

Cette prospection géophysique a permis de mettre en évidence :

- ✓ une partie superficielle altérée d'une épaisseur variant de 4 à 10 m d'épaisseur,
- ✓ plusieurs anomalies électriques conductrices semblables à celle testée à la verticale du Blagour de Chasteaux,
- ✓ la faille dans l'angle de la vallée d'Entrecors.



A partir de ces résultats 3 forages de reconnaissance d'une cinquantaine de mètres ont été réalisés. Ces forages ont montré :

- ✓ sous 8 m de sables limoneux puis sables grossiers limoneux, des calcaires oolithiques avec des cavités parfois ensablées sur 10 à 15 m d'épaisseur,
- ✓ une vingtaine de mètres de calcaires fracturés et karstifiés mais moins caverneux,
- ✓ et enfin les marnes noires du Toarcien,
- ✓ les principales arrivées d'eau se trouvent entre 5 et 20 mètres de profondeur,
- ✓ un niveau statique entre 0,5 et 6 m de profondeur.

Compte tenu du pendage général vers l'ouest, les calcaires sont les plus épais à l'ouest (45 à 50 m) qu'à l'est (35 à 40 m).

Les débits au soufflage étaient de 130 m<sup>3</sup>/h. Ce débit était certainement sous-estimé du fait de la grande quantité de cavités et du faible espace annulaire.

Compte-tenu des résultats encourageants de ces sondages de reconnaissance un forage d'exploitation a été réalisé dans le secteur du sondage F1.

Le forage a été réalisé par la société MASSE, au marteau fond de trou, avec tubage à l'avancement. L'ouvrage a été difficile à réaliser compte-tenu de la grande quantité de cavités rencontrées.

Jusqu'à environ 25 m de profondeur les calcaires oolithiques sont caverneux. Simplement fracturés et karstifiés jusqu'à 50 m.

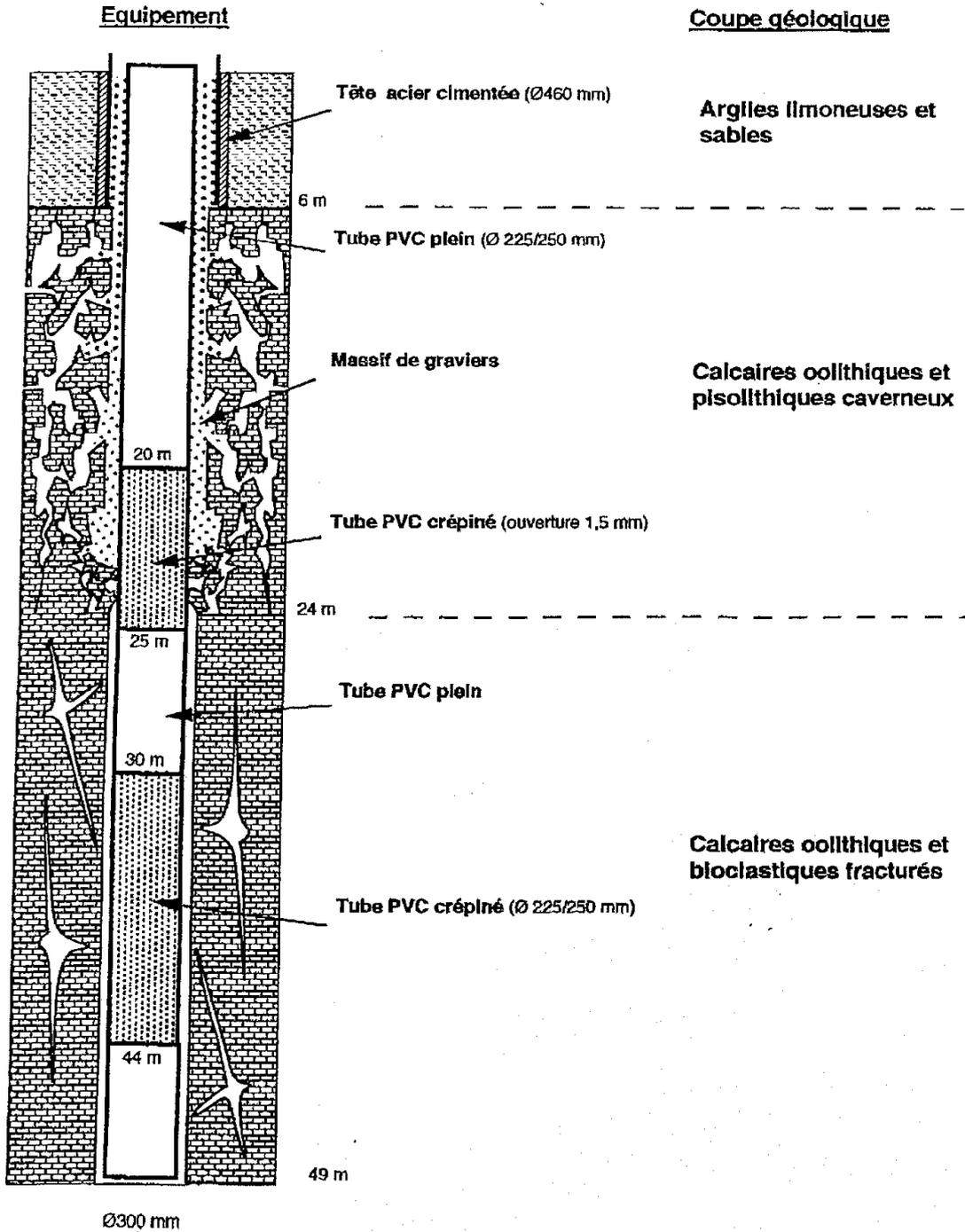
Après 72 heures de pompage à 199 m<sup>3</sup>/h le rabattement atteignait 3,5 m. Après un peu plus de 16 heures de pompage les sources de la cressonnière ont tari. Ce tarissement des sources a eu pour effet une remontée importante du niveau dynamique dans le puits d'exploitation et dans le piézomètre situé entre le puits et les sources. Nous avons rapproché ce phénomène au phénomène de « boulangerie » décrit par JP. Fabre au Blagour de Souillac. En effet, lorsque la charge n'est plus suffisante au niveau de la source, la perméabilité du sable colmatant l'exutoire décroît fortement provoquant la remontée du niveau dans les ouvrages.

Pendant le pompage aucune baisse du débit de la source du Blagour n'a été constatée.

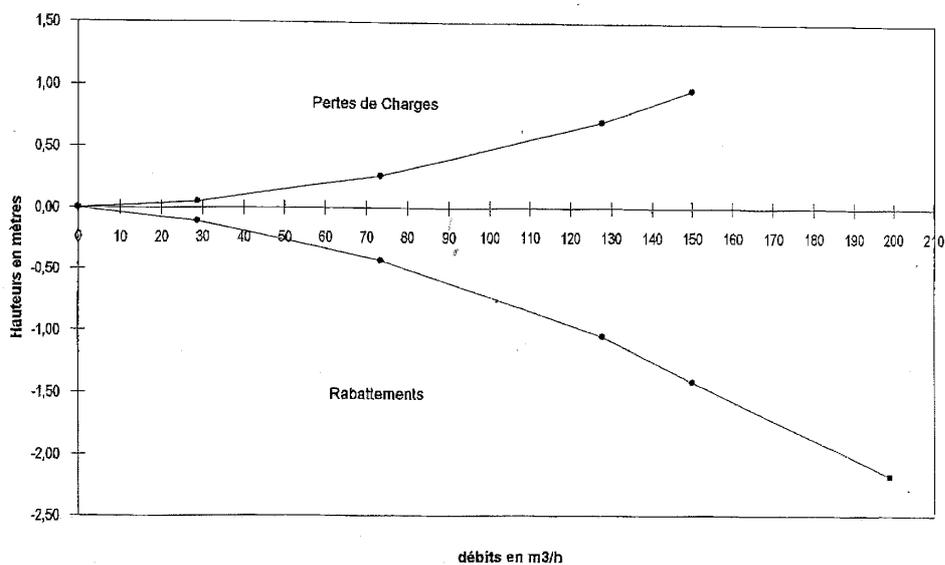
Quelques années plus tard un deuxième forage a été réalisé. Il n'est profond que de 32 m. La production actuelle est de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/h par puits. Depuis la mise en service des deux ouvrages la source du Blagour n'est plus exploitée que de façon temporaire lors des très fortes demandes.

L'eau captée est d'une bonne qualité avec de très faibles variations saisonnières. En particulier, la turbidité est très faible. De ce fait les eaux du forage d'Entrecors ne transitent plus par la station de traitement que pour recevoir une désinfection.

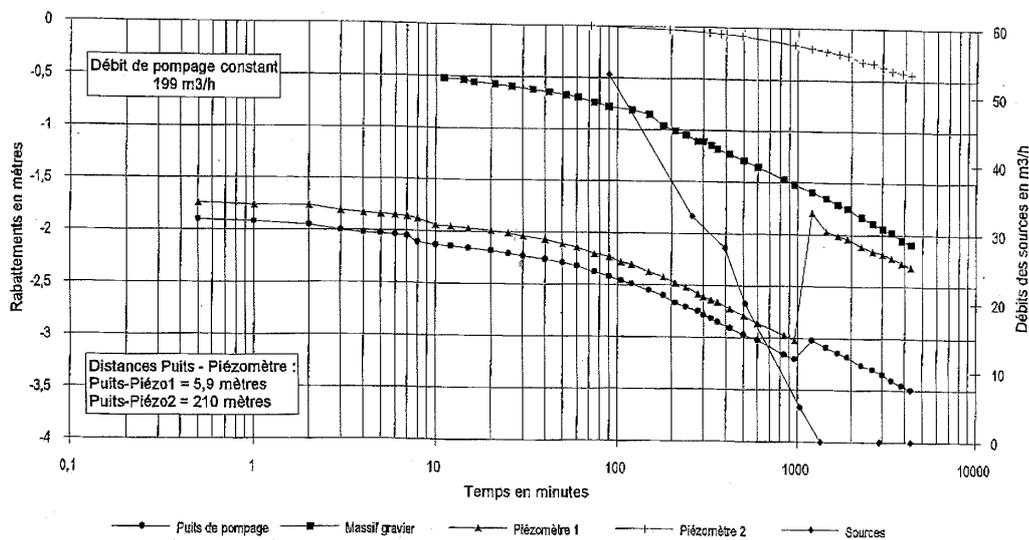
## COUPE ET EQUIPEMENT DU FORAGE D'ENTRECORS



FORAGE D'ENTRECORDS - ESSAIS PAR PALIERS  
 Courbe caractéristique du puits



FORAGE D'ENTRECORDS - ESSAI LONGUE DUREE  
 DESCENTE du 4 au 7 Juillet 1994



Les périmètres de protection proposés par l'hydrogéologue agréé et repris dans la DUP sont les suivants :

- ✓ PPI autour des ouvrages de captage avec pour le Blagour de Chasteaux quelques aménagements spécifiques,
- ✓ PPR calqué sur les limites d'un arrêté de Biotope concernant la vallée d'Entrecors et les collines environnantes,
- ✓ PPE correspondant à la totalité du bassin d'alimentation de la source d Blagour de Chasteaux.

En 2003, les rabattements ont atteint une dizaine de mètres dans les ouvrages. A l'étiage dernier de la turbidité est apparue. Un diagnostic de l'ouvrage doit être mené dans les mois à venir.

Contrairement aux eaux de la source du Blagour de Chasteaux, les eaux des forages d'Entrecors sont proches l'équilibre calco-carbonique avec une dureté importante (TAC de l'ordre 30°F). Le processus de précipitation ne se produit que tardivement après évaporation du gaz carbonique dans les divers réservoirs. Les précipitations calcaires représentent donc une gêne pour les usagés.

Une station de traitement du Calcaire a donc été réalisée par la société CTE-Eautonic dont le principe de fonctionnement est le suivant :

Le procédé *erca*<sup>2</sup> (breveté et agréé Ministère de la Santé) réalise une précipitation du CaCO<sub>3</sub> par l'action d'un champ électrique qui applique le principe de la « microélectrolyse ».

La précipitation du CaCO<sub>3</sub> est le fait d'un déséquilibre naturel ou provoqué de la chaîne « carbonique » dont l'élément essentiel est le « bicarbonate » ou « hydrogénocarbonate » de formule chimique (HCO<sub>3</sub>).

Dans les eaux destinées à la consommation humaine, le Titre Alcalimétrique Complet – TAC – mesure quasi exclusivement la concentration en « Bicarbonates » ou « Hydrogénocarbonates » de l'eau analysée.

Les « bicarbonates » représentent habituellement une masse 3 fois plus importante que le « calcium », ce qui induit que la concentration en « bicarbonates » + la concentration en « calcium » représentent dans la majorité des cas 80 à 95 % de la masse des minéraux dissous.

Cette masse associée au fort taux d'insolubilité conduit forcément à une précipitation forte et contestable par sa présence indésirable dans sa forme « calcaire » ou « tartre ».

Par cette action, la cathode (inox) devient le siège de la réaction de dissociation des « bicarbonates » (HCO<sub>3</sub>) sous l'effet de la réduction de l'eau produisant des (OH<sup>-</sup>).

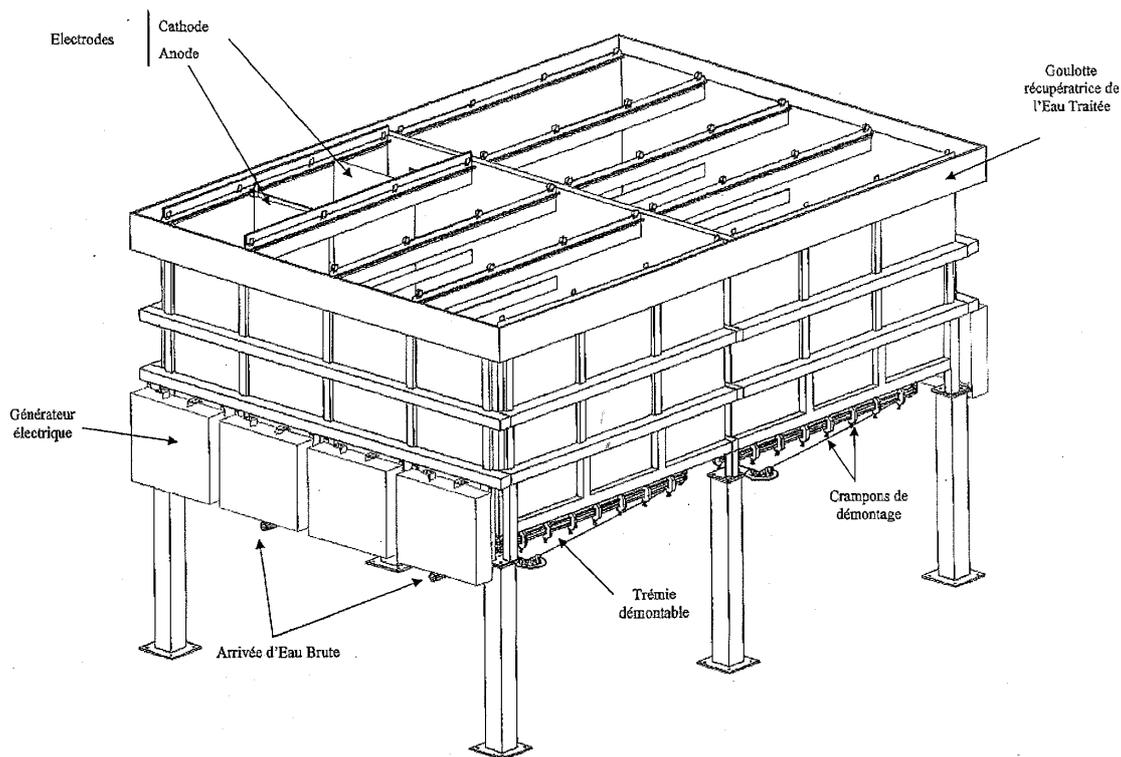
Le carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) provenant de cette dissociation est animé d'une intense activité électronique à la recherche d'un nouvel équilibre qui se fait lors de la liaison avec un cation disponible (Ca<sup>2+</sup>).

D'où la formule chimique générale :



La réaction permet la germination puis après déshydratation, la cristallisation du carbonate de calcium.

Il y a un abattement identique exprimé en °F du TAC et du TH-THCa.



notice d'utilisation juin 2006

11

## Electrodes

Par conception, le voisinage de la cathode est la siége de la réaction de dissociation des « bicarbonates » en carbonates qui associés au calcium vont générer le carbonate de calcium.

Une fine couche de carbonate de calcium, appelée couche primaire, va plus ou moins adhérer à la surface de la cathode lors de la polarisation.

Par la suite, la germination du  $\text{CaCO}_3$  va former un amoncellement de cristaux qui enchevêtrés vont constituer une couche hydratée poreuse en suspension sur la couche primaire.

Au fur et à mesure du volume d'eau traitée, les cristaux de  $\text{CaCO}_3$  vont pour partie tomber au fond de la trémie, pour l'autre partie contribuer à la croissance de la couche.

Cette croissance externe est un signe favorable de fonctionnement normal.

L'évolution de la couche tendant à remplir l'espace interélectrodes est également un signe favorable de fonctionnement normal.

Au fur et à mesure que la couche évolue, il est constaté une augmentation relativement proportionnelle de la tension entre les bornes des électrodes (observable sur le voltmètre du générateur et reportée sur l'acquisition de données).

Une intervention dite « trimestrielle » ou « de type multi annuelle » est prévue sur chacun des réacteurs *erca*<sup>2</sup> type M30 lorsque celui-ci aura traité entre 30.000 et 36.000 m<sup>3</sup>.

Cette intervention normale de maintenance (cf. entretien et intervention) consiste à :

- extraire le  $\text{CaCO}_3$  de la trémie du réacteur,
- examiner les électrodes,
- contrôler les connectiques électriques.

## Le Causse de Martel

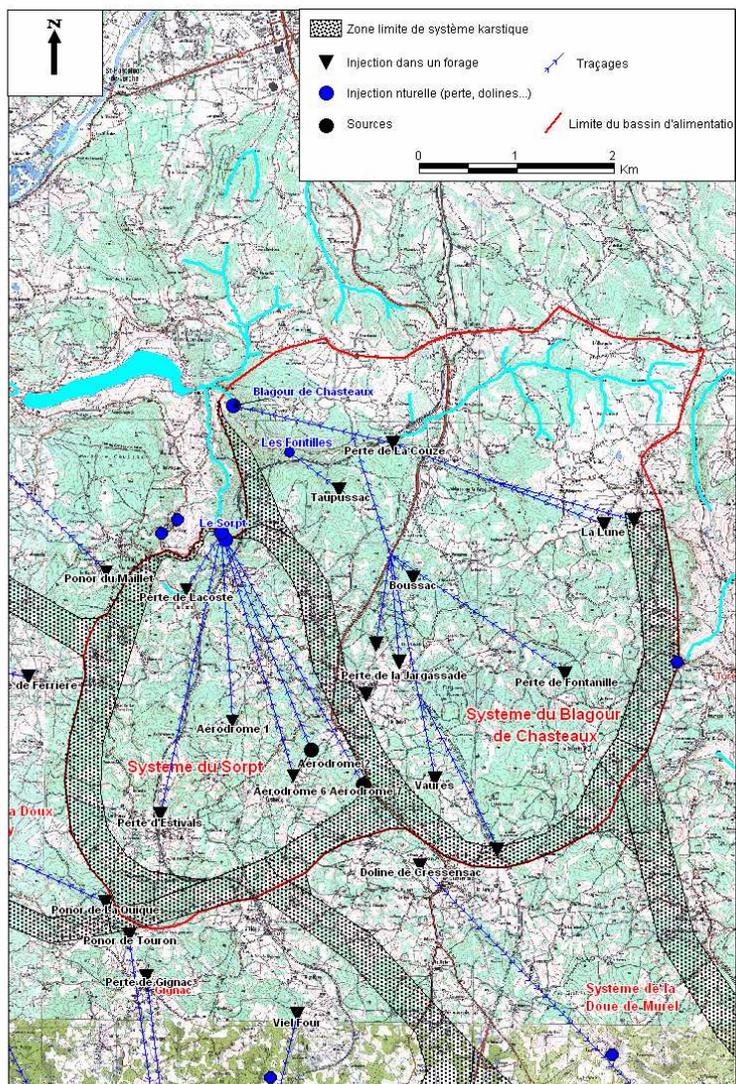
### *Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de deux systèmes karstiques Le Blagour de Chasteaux / Le Sorpt – Corrèze (19)*

Stagiaire : Christophe PARIS

Maitre de stage : Philippe MUET (GINGER Environnement)

Cette étude test visant à cartographier la vulnérabilité intrinsèque de systèmes karstiques par la méthode PaPRIKa (ex RISKE 2) concerne les systèmes associés du Blagour de Chasteaux et du Sorpt.

La source du Blagour de Chasteaux émerge d'un système **karstique binaire**, avec des écoulements superficiels amont sur les grès triasiques, donnant naissance au ruisseau « la Couze ». Les eaux de ruissellement se perdent au niveau de la perte de la Couze pour émerger au Blagour. Le système du Sorpt quand à lui est un **système unaire**. (Figure 1)



**Figure 1** : Hydrogéologie de la région et localisation des systèmes karstiques

## METHODOLOGIE

La méthode PaPRIKa est défini selon 4 critères : **I** définissant les modalités d'infiltration, **R** représentant la roche réservoir, **P** la protection (conjugaison entre le sol et l'épikarst) et **K** définissant la fonctionnalité du karst et de son réseau de drainage.

Deux phases sont nécessaires pour permettre l'indexation des différents critères. Dans un premier temps une phase de recherche bibliographique sera indispensable, puis une prospection terrain permettra une analyse approfondie et complétera les informations tirées de la bibliographie. Cette phase terrain est nécessaire pour définir le degré de fracturation de la roche, l'épaisseur du sol ou pour vérifier l'existence d'un épikarst...

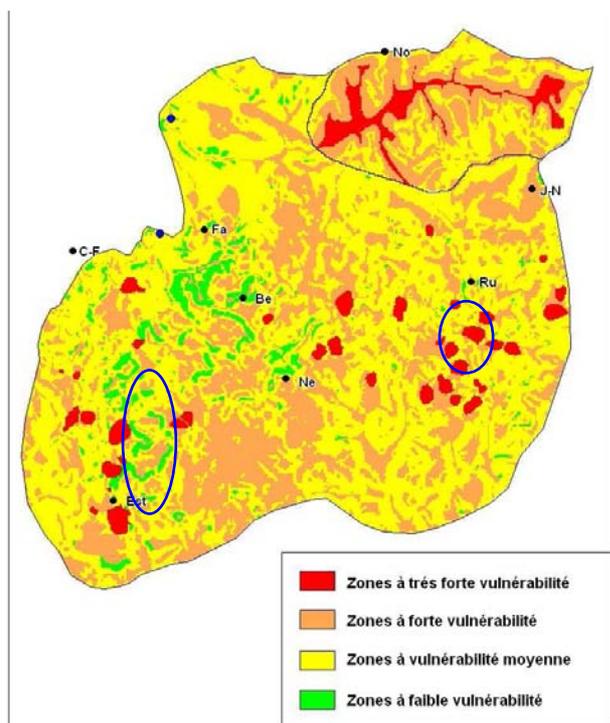
Le calcul des cartes finales s'effectue par une combinaison linéaire des pondérations affectées à chaque critère. Le calcul est défini comme tel :

$$I_g = iI_{0-4} + rR_{0-4} + pP_{0-4} + kK_{0-4} \quad \text{avec} \quad i > r \geq p \geq k \geq 0.1 \quad \text{et} \quad \sum (\text{indices de pondération}) = 1$$

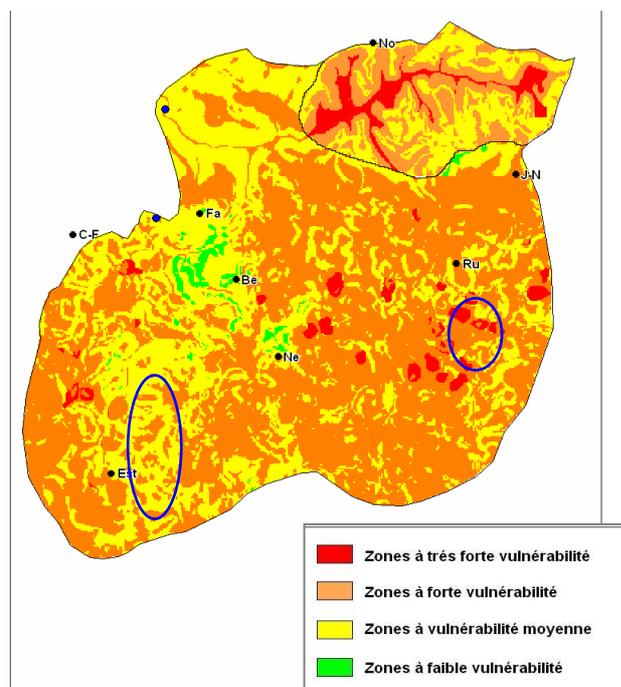
Il faut remarquer la prépondérance du critère I sur tous les autres critères.

## LES CARTES FINALES

Il est à noter que les parties karstiques et non-karstique ont été traitées séparément. Pour la zone non-karstique du bassin versant de la Couze, une modification de la définition des critères a été testée. Une telle méthode est également employée sur le Causse de Gramat (cf. *Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du Causse de Gramat*, D. Kavouri). C'est pourquoi nous discuterons essentiellement ici de la zone karstique.



**Figure 2** : Carte de vulnérabilité, I prépondérant



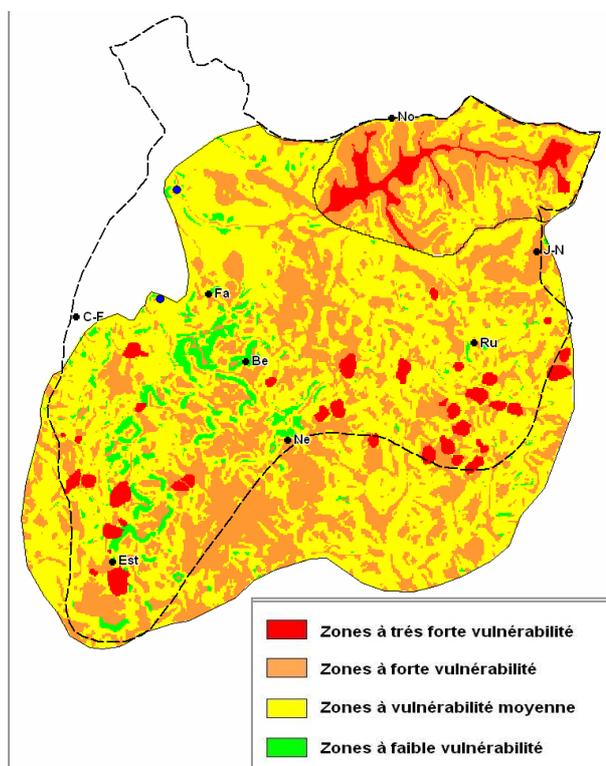
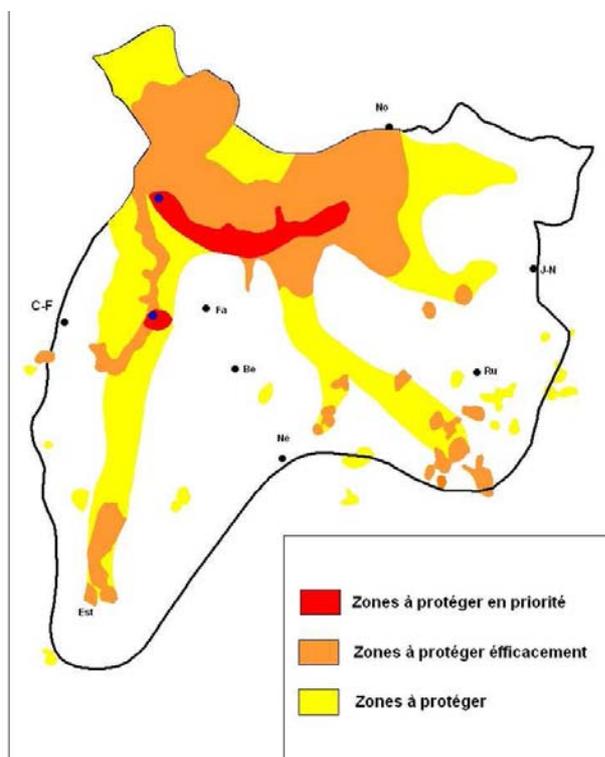
**Figure 3** : Carte de vulnérabilité, I modéré

La **Figure 2** est une carte où le critère I possède un poids important. La prépondérance du critère I diminue l'importance des valeurs des autres indices (R, P, K). Comme le veut la méthode, les aires d'alimentation des points d'infiltration préférentielle apparaissent en très forte vulnérabilité.

La **Figure 3** est une carte où le critère I reste plus modéré. Les critères R, P et K peuvent ainsi s'exprimer de manière plus importante. Il est à noter que les aires d'alimentation des points d'infiltration préférentielle perdent de leur vulnérabilité. Certaines se voient déclasser dans l'échelle des gammes, notamment au niveau de la dépression d'Estivals, et d'autres se désagrègent sans pour autant disparaître, comme on peut le constater au sud de Russac,. Il existe donc un paradoxe entre le critère I et les zones à infiltration privilégiée, et le critère P par la couverture géologique et pédologique importante. Les dépressions fermées sont des points préférentiels d'absorption des eaux météoriques. Cependant, elles font l'objet d'un comblement important par les formations superficielles tertiaires sidérolithiques, sur lesquels se développent des sols épais. C'est pourquoi les points de perte situés dans la dépression d'Estivals, où la couverture protectrice est intense, sont en totalité déclassés en classe de vulnérabilité plus faible.

## CARTOGRAPHIE ANTERIEURE ET COMPARAISON

La zone d'étude a déjà fait l'objet d'une cartographie de la vulnérabilité (P.Muet, 1985) (cf. **Figure 4**)



**Figure 4** : Carte de vulnérabilité ancienne (P. Muet 1985)

**Figure 5** : Carte de vulnérabilité établie par PaPRIKA

Tout d'abord, il faut noter un réajustement des limites de l'aire d'alimentation des systèmes. C'est l'abondance des études de traçage hydrogéologique qui a permis, au fil des années, de remodeler cette limite.

Cette cartographie, établie à dire d'expert, tient compte de différents critères géomorphologiques et hydrogéologiques particuliers à la région.

**Les zones de très forte vulnérabilité** (à protéger en priorité) sont les zones de proximité immédiate des sources, ainsi que la vallée d'Entrecors qui s'étend de la perte de la Couze à la source du Blagour de Chasteaux, ou la ZNS (zone non-saturée) est très peu épaisse.

**Les zones de forte vulnérabilité** (à protéger efficacement) forment une auréole autour des zones de très forte vulnérabilité. Elles correspondent également aux zones d'infiltration préférentielle.

**Les zones de vulnérabilité moyenne** (à protéger) correspondent essentiellement aux terrains situés au droit des drains principaux du réseau karstique. La localisation de ces drains a été déterminé grâce à la prospection spéléologique, aux traçages hydrogéologiques effectués dans la région, mais également par des indices géomorphologiques (concentration plus important de dolines à points d'infiltration à certains endroits pouvant témoigner d'un drain sous-jacent...).

Les résultats obtenus par la méthode PaPRIKa présentent des similitudes avec la carte réalisée à dire d'expert. En effet, la carte résultant de PaPRIKa met en évidence les zones les plus vulnérables au niveau des points d'absorption éloignés. (cf. **Figure 5**).

Cependant, les zones à proximité des sources ne possèdent pas une forte vulnérabilité, de même que les zones situées au droit des drains principaux. Il est important de noter la discontinuité en termes de vulnérabilité dans la région de la vallée d'Entrecors (moyennement à peu vulnérable) par rapport au bassin versant de La Couze à l'amont direct de la perte qui offre des terrains à forte vulnérabilité.

Les zones de vulnérabilité établie à dire d'expert sont basées sur :

- 1) La distance à la source avec une estimation des temps de transit,
- 2) L'épaisseur de la Zone Non-Saturée,
- 3) Des indices géomorphologiques comme les points de perte et de ponors,
- 4) La localisation spatiale des axes de drainage.

La méthode PaPRIKa présente une approche géomorfo-pédologique, tandis que la cartographie à dire d'expert s'appuie sur des indices hydrogéologiques vis-à-vis du fonctionnement du karst. Le milieu étant appréhendé de manière différente dans les deux cas, de telles différences sur la vulnérabilité sont compréhensibles.

# Evolution et dynamique sédimentaire dans les dolines du Causse de Martel

**Laurent Bruxelles et David Colonge**

INRAP, ZAC des Champs Pinsons, 13 rue du Négoce 31650 St-Orens-de-Gameville et CRPPM/TRACES (UMR 5608 du CNRS). E-mail : [laurent.bruxelles@inrap.fr](mailto:laurent.bruxelles@inrap.fr).

Le Causse de Martel se caractérise par la présence de nombreux placages résiduels d'altérites. Issues des dépôts crétacés, ces formations argilo-sableuses contribuent au façonnement de la topographie karstique du causse depuis le début du Tertiaire. Remaniées successivement de point bas en point bas, elles constituent l'essentiel du cortège d'insoluble, enrichi par les résidus de dissolution des calcaires jurassiques. Cette couverture a régi la localisation et l'évolution des dolines. En effet, elle constitue un impluvium peu perméable à la surface du causse. Les ruissellements concentrés s'infiltrent en bordure des affleurements d'altérites et initient un point de soutirage. A ce niveau, des altérites remaniées s'accumulent et forment une couverture qui joue alors le rôle d'une compresse humide et maintient une activité de crypto-corrosion sur les calcaires, permettant l'approfondissement mais aussi l'extension de la doline. Le versant couvert d'altérites étant partiellement protégé, c'est le versant opposé qui recule progressivement par le biais d'une bordure de corrosion. On aboutit ainsi à la formation des dolines dissymétriques, caractéristiques des grandes dolines de ce secteur.

## I – Le remplissage des dolines

En 2003 et 2004, une opération d'archéologie préventive a concerné une partie du Causse de Martel sur lequel a été construit l'aérodrome de Brive-Souillac (communes de Cressensac et de Nespouls ; Colonge *et al.*, 2004, Bruxelles *et al.*, 2006). A cette occasion, 610 sondages à la pelle mécanique ont été réalisés, essentiellement dans le fond des dolines. Leur remplissage a été recoupé sur plusieurs mètres d'épaisseur et certaines tranchées dépassaient 100 mètres de longueur (Bruxelles *et al.*, 2006). La coupe relevée dans le sondage 17 (fig. 1) résume l'essentiel des observations réalisées au cours de ce diagnostic archéologique.

Alors que son extrémité orientale est proche de la bordure calcaire, l'essentiel du sondage longe un important affleurement d'altérites. Le substrat calcaire n'a donc été atteint que dans la partie est du sondage. Il suit une pente régulière en direction de l'ouest puis plonge très brutalement. Sur les calcaires, les altérites sableuses se résument à quelques décimètres d'épaisseur et intègrent de nombreux blocs calcaires.

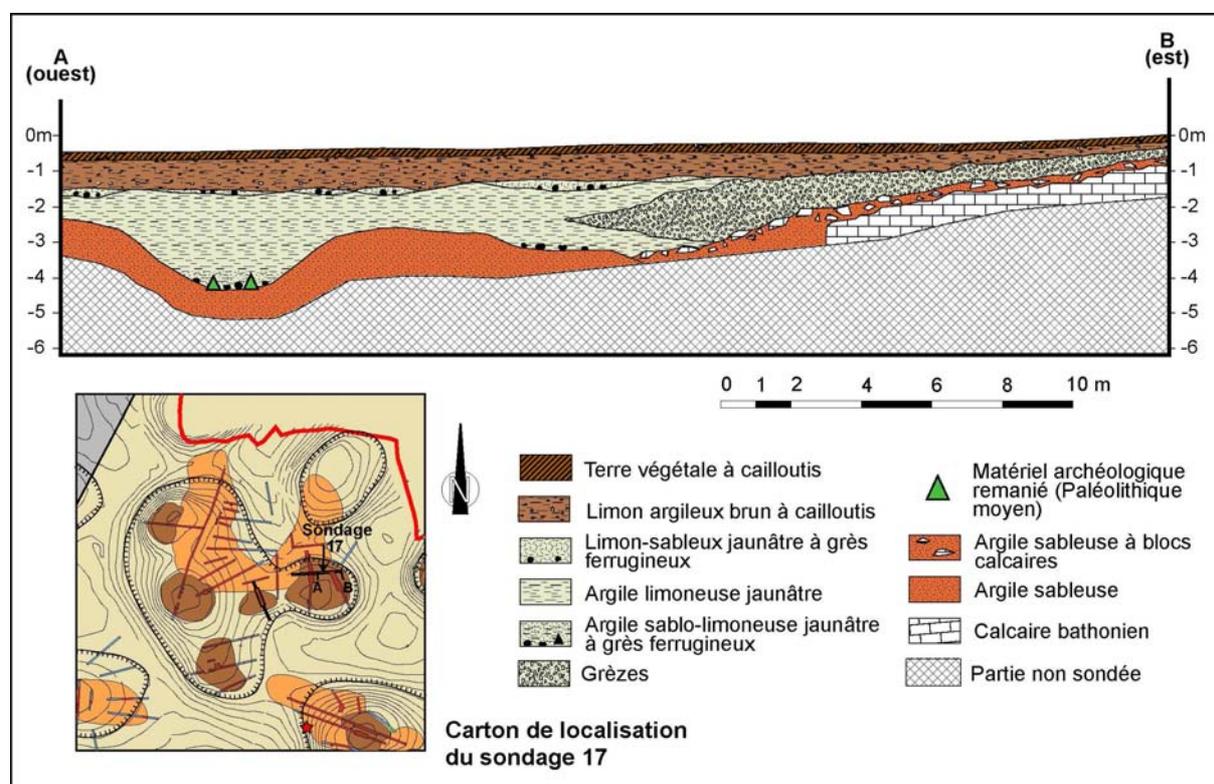
Vers l'ouest, elles deviennent très épaisses. Leur toit est irrégulier et dessine une succession de dômes de quelques mètres de largeur séparés par des chenaux profonds de 1 à 1,5 mètres. Ils correspondent à des formes d'érosion qui ont entaillé les argiles sableuses. Le fond des chenaux contient une concentration de fragments de grès ferrugineux, de sable grossier ainsi que des quartz taillés en position remaniée (Paléolithique moyen). La topographie du toit des altérites montre à l'évidence un système de chenaux d'érosion qui se dirigent vers le point bas de la doline. Ils révèlent une certaine dynamique du soutirage karstique capable de provoquer, par érosion régressive, l'incision des formations argilo-sableuses.

Dans la partie est du sondage, une nappe de grèzes se raccorde, en direction de l'ouest, à une formation limoneuse jaunâtre. Les gélifracfs proviennent du versant rocheux de la dépression alors que les limons jaunes sont alimentés, de l'autre côté de la doline, par les lambeaux de couverture crétacée. Il s'agit donc d'une variation latérale de faciès liée à la nature des

affleurements sur le bassin-versant. Ce passage latéral permet d'établir une corrélation entre les grès et ces limons jaunes, leur conférant, de fait, une origine périglaciaire. En outre, la présence de structures lamellaires au sein des limons jaunes correspond à la formation de lentilles de glace pendant la dernière phase froide du Quaternaire. Quelques lits de grès sont également interstratifiés dans la formation limoneuse.

Une série de lentilles sableuses à petits blocs de grès ferrugineux ravine la partie supérieure des limons jaunes. Ces structures illustrent une nouvelle phase d'érosion au toit de la séquence limoneuse.

Au sommet, une formation limono-argileuse brune à cailloutis calcaire s'épaissit d'est en ouest, où elle atteint 1,5 mètres d'épaisseur. Elle débute par un niveau limono-argileux à cailloutis épars et à fragments de céramiques (protohistoriques à médiévales). Elle est surmontée par une passée plus caillouteuse puis par une trentaine de centimètres de terre végétale à cailloutis. L'arrivée pour la première fois de fragments calcaires, dans un secteur de la doline où le bassin versant est constitué par les altérites, ne peut être imputé qu'à l'activité agricole et notamment aux labours qui assurent un mélange et une répartition des formations superficielles dans l'ensemble de la doline.



**Figure 1** : Coupe stratigraphique relevée lors du diagnostic archéologique (sondage 17, commune de Nespouls).

## II – Interprétations dynamiques et paléoenvironnementales

La succession des événements enregistrés dans cette doline peut être reconstituée ainsi : après les altérites remaniées, le remplissage le plus ancien est constitué par les argiles limoneuses jaunes et les grès périglaciaires. Les conditions climatiques et la rareté de la végétation durant ces périodes ont favorisé le colluvionnement et ont contribué au colmatage des dolines sur plusieurs mètres d'épaisseur. Au sommet, des formes de cryoturbation montrent que ces dépôts sont en place et n'ont pas été remaniés par la suite.

Nous n'avons pas observé de dispositif mettant en évidence une concomitance du soutirage et de la gélifraction. Manifestement, l'abondance de matériel détritique a largement pris le pas sur le fonctionnement du karst, certainement entravé par la présence, au moins temporaire, d'un sol gelé.

Dans plusieurs dolines, nous avons pu remarquer que les gélifractions étaient ponctuellement soutirés. Cette reprise de l'activité karstique peut signer le retour de conditions plus favorables à la karstification au début de l'Holocène. De même, nous avons relevé en plusieurs points une troncature au sommet des dépôts périglaciaire. Dans le contexte de dépressions fermées, cela correspond à la reprise du soutirage principal qui se traduit, dans le reste de la doline, par une vague d'érosion régressive. Les versants, certainement stabilisés par la végétation, ont fourni une quantité moindre de matériaux.

Une lacune sédimentaire semble couvrir une grande partie de l'Holocène puisque, juste au-dessus de cette troncature, viennent en discordance les formations colluviales brunes à cailloutis dans lesquelles des tessons protohistoriques ont été trouvés. Souvent, ces formations marquent un changement radical dans le mode de sédimentation qui devient plus détritique et plus hétérogène. La couleur brune de la matrice et l'abondance de cailloutis calcaires émoussés traduit l'érosion des sols sur les versants de la doline. La déforestation peut être invoquée pour expliquer la remobilisation brutale des sols.

Enfin, l'apparition de la mécanisation a également contribué au colmatage des dépressions. Le fond plat des dolines est d'ailleurs souvent un signe de l'anthropisation du milieu (Nicod, 1972). Les coupes successives « à blancs » sur les versants pendant le 19<sup>e</sup> et la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle ont favorisé l'érosion des sols et de la frange altérée des calcaires. Par la suite, les matériaux ont été mélangés et répartis de manière homogène par les labours dans l'ensemble de la dépression, même dans les secteurs où seules les altérites crétacées affleurent en amont.

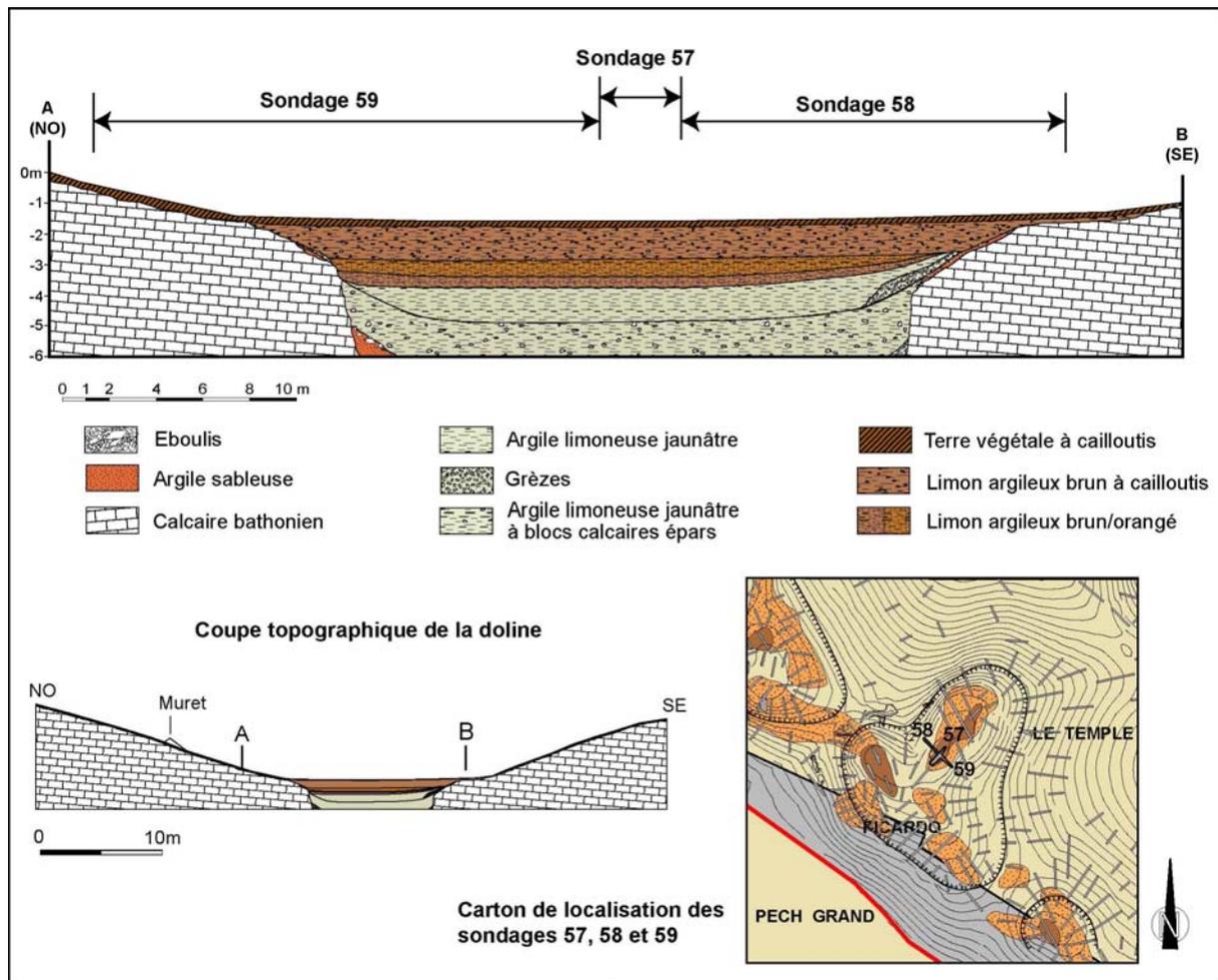
### **III – Morphologie des dolines au cours du Dernier Glaciaire**

Au-delà de l'importance du colmatage des dolines, les sondages ont montré l'existence d'une morphologie karstique nettement plus différenciée, notamment au début de la dernière phase froide du Quaternaire. La coupe réalisée à partir des sondages 57, 58 et 59 est d'ailleurs assez éloquent (fig. 2).

Elle montre, avec une série d'autres sondages, que le fond de la doline était surcreusé par une autre dépression aux parois sub-verticales. Près de six mètres de dépôts ont été recoupés sans pouvoir en atteindre le fond. Les dépôts traversés ne montrent pourtant pas de déformation qui pourrait illustrer un approfondissement progressif de la doline, jugulé au fur et à mesure par l'apport de colluvions. Il est donc assez clair que cette dépression, comme de nombreuses autres étudiées dans ce secteur, était beaucoup plus profonde au début de la dernière période froide. Puis, les accumulations de grèzes dans les secteurs calcaires et d'argiles sableuses au pied des placages d'altérites ont colmaté ces dolines sur plusieurs mètres d'épaisseur.

Le remplissage des dolines du Causse de Martel montre bien l'important développement des morphologies karstiques à l'aube de la dernière phase froide du Quaternaire. La dégradation du climat s'illustre alors par l'accumulation de plusieurs mètres d'argile limoneuse et de gélifractions. Cet important détritisme est enregistré au fond des dolines mais aussi dans certaines cavités. Ces épaisses accumulations sédimentaires ont toutefois permis la

préservation des vestiges paléolithiques, à l'exception des secteurs où le soutirage holocène a repris avec vigueur.



**Figure 2** : Coupes stratigraphiques relevées lors du diagnostic archéologique (sondage 57, 58 et 59, commune de Cressensac).

## Bibliographie

BRUXELLES L., COLONGE D. et SALGUES T. – 2006. – Morphologie et remplissage des dolines du Causse de Martel d'après les observations réalisées au cours du diagnostic archéologique de l'aérodrome de Brive-Souillac (Corrèze et Lot), *Karstologia*, n°47, p. 21-32.

COLONGE D., ARNOUX T., BRUXELLES L., CHEVREUSE F., D'AGGOSTINO A., JAMOIS M.-H. et ONEZIME O. – 2004. – Rapport final de d'opération de sondages et d'évaluations archéologiques, Aérodrome de Brive-Souillac (Nespouls, Corrèze, Limousin ; Cressensac, Lot, Midi-Pyrénées), 153 p.

NICOD J. – 1972. – Pays et paysages du calcaire. – P.U.F., Paris, "le géographe", n° 7, 244 p.

# LES DEPRESSIONS KARSTIQUES SUR LES CAUSSES DU QUERCY

## INTRODUCTION

Le modelé karstique des causses du Quercy est caractérisé par une multitude de dépressions taraudant la surface des terrains jurassiques. Cette note présente une nomenclature des dépressions karstiques (cf. pl. annexes n° 1 et 2), évoque les problèmes posés par leur répartition géographique et en décrit quelques unes parmi les plus remarquables.

De nombreux chercheurs ont abordé ce sujet dans leurs études des phénomènes karstiques de cette région. On doit retenir principalement les observations de R. Clozier (1940), B. Gèze (1937), Ph. Renault (1967-68-71) et A. Cavaillé (1961-70-78). Plus récemment, les thèses et mémoires de Ph. Muet (1985), F. Virol (1987) et Th. Marchand (1980) ont développé la description de ces phénomènes.

## LES DEPRESSIONS KARSTIQUES EN QUERCY

Ces dépressions karstiques ont une origine commune, elles correspondent à des zones de dissolution préférentielles liées à une activité karstique actuelle. En effet, si le drainage par le karst des matériaux issus de l'érosion-dissolution des roches carbonatées ne s'effectue pas très rapidement, ces dépressions se transformeront en mare et des sédiments argileux les combleront.

La doline du Got (Salles-de-Belvès, Dordogne) complètement remplie par des argiles kaoliniques au Mio-Pliocène (J.Dubreuilh, 1988) et celle du "Lac" de Quézac (Vaylats, Lot) colmatée par des calcaires lacustres oligocènes (J.G. Astruc, 1987) témoignent de ce processus de fossilisation.

Sur les causses du Quercy les dépressions karstiques peuvent être classées dans cinq formes principales :

- les **dolines** (en quercynois : cloups), sont les plus nombreuses (plusieurs milliers), ces dépressions circulaires (cf. pl. annexe n° 1), parfois elliptiques, d'une dizaine à une centaine de mètres de diamètre environ et pouvant exceptionnellement atteindre 400 m (les Mazet, Rocamadour). Leurs profondeurs varient de quelques mètres à une trentaine de mètres.
- Les **dolines-puits** (cf. pl. annexe n° 1), formes provoquées par l'effondrement ou l'ablation par érosion du toit d'une cavité, se localisent à l'aplomb des grands systèmes karstiques. Leurs composantes, essentiellement verticales, pouvant dépasser une centaine de mètres de profondeur, les assimilent à de véritables abîmes. Les plus remarquables se rencontrent sur l'Ouyse souterraine (Les Besaces, Bèdes, Les Vitareilles, Roc d'Arènes), sur le bassin versant de la fontaine des Chartreux (igues d'Aujols, de L'Hôpital, de Jordanet) en amont de la résurgence de Crégols (Igue de Crégols), au sud du Cuzoul des Brasconnies (commune de Blars) et à la bordure orientale du causse de Limogne, sur la Diège souterraine, le Trou de Gargantua (commune de Salles-Courbatiès, Aveyron).
- les **ouvalas**<sup>1</sup> (cf. pl. annexe n° 2) sont des dépressions plus vastes, généralement formées par la coalescence de plusieurs dolines (J.Nicod, 1972). Les plus remarquables sont situées aux environs de Martel, des Landes et de Baladou (causse de Martel), au SW de Gramat (Les Aspes, Les Cloups), à Caniac-du-Causse (Les Devèzes) et à Berganty (causse de Limogne).
- les **poljés**<sup>2</sup> (cf. pl. annexe n° 2) sont des dépressions à fond plat. René Clozier (1940) décrit un seul poljé en Quercy à Martiel (limite orientale du causse de Limogne), toutefois les dépressions des Alix

---

<sup>1</sup> Ouvalas : Terme d'origine slave, intermédiaire par ses dimensions entre la doline et le poljé, formé par la coalescence de plusieurs dolines (P. Fénelon, 1967).

<sup>2</sup>Poljé : prononcer polié, terme d'origine yougoslave signifiant plaine et s'appliquant en géomorphologie karstique à de très grandes dépressions fermées (P. Fénelon, 1967).

---

**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

(Rocamadour), de Rouffignac (Montvallent) et du Causse de Saint-Géry, qui sont de vastes dépressions à fond plat et de dimensions kilométriques, peuvent également appartenir à cette forme. Celles-ci s'apparenteraient toutefois d'avantage à des méga-dolines qu'à des poljés sensu stricto.

- Les **cuvettes héritées** sont de vastes cavités paléokarstiques, partiellement déblayées de leur remplissage. Ces formes sont très nombreuses sur le causse Martel.

### LE REMPLISSAGE DES DEPRESSIONS KARSTIQUES

Les dépressions karstiques constituent des pièges naturels en conservant pendant un temps plus ou moins long (parfois quelques dizaines de milliers d'années) des témoins de leur environnement géologique et parfois de l'activité humaine.

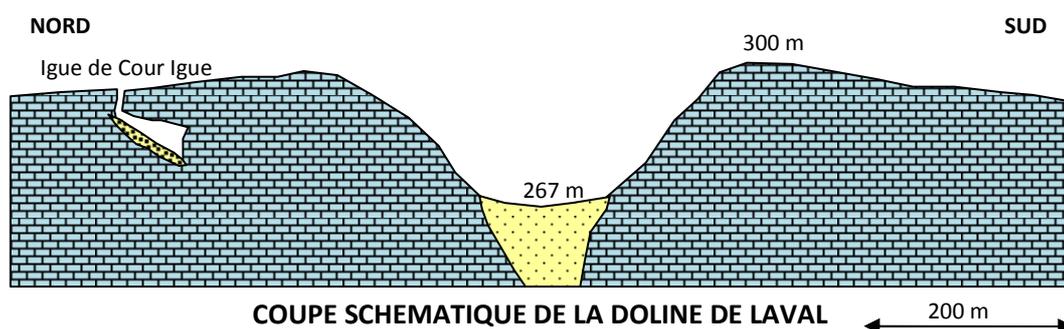
Sur les causses, toujours arides, ces dépressions possèdent souvent un sol fertile, elles forment de véritables oasis pouvant receler des exceptions floristiques (M. Séronie-Vivien, 1994).

De tout temps, elles ont attiré la faune et à partir du Néolithique, elles ont été systématiquement mises en culture. La fertilité du sol, parfois la présence de sources ou de vastes cavernes au fond de ces cuvettes, est à l'origine de la localisation d'une multitude de gisements paléontologiques et préhistoriques (Cuzouls de Gramat, Roucadour, etc.).

A l'aplomb des dolines, le spéléologue retrouve des accumulations de sédiments refermant des vestiges paléontologiques et préhistoriques descendus par gravité et entraîné par le ruissellement dans les dédales des galeries souterraines qui en profondeur taraudent les causses du Quercy. A Padirac, le gisement découvert à plusieurs kilomètres du gouffre est lentement descendu par ce processus d'une doline localisée à l'aplomb des galeries souterraines.

Quelques rares dolines ne possèdent pas de sol, leur fond en général n'est pas plat, il est constitué de blocs de rocher fermant partiellement des conduits souterrains (doline de l'igue du Lynx dans la Braunhie).

Enfin il faut signaler le curieux remplissage de la doline de Laval, cette vaste doline de 300 m de diamètre, en forme d'entonnoir, possède un remplissage composé de grèzes<sup>3</sup>, si en période estivale (mai, juin), on creuse un trou de cinquante centimètres de profondeur, on est étonné de découvrir que la matrice des éléments calcaires est formée par des cristaux de glace!...



<sup>3</sup>Grèzes : accumulation, de fragments anguleux de roches calcaires, provenant de la gélifraction d'un versant.

---

**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

## REPARTITION DES DEPRESSIONS KARSTIQUES EN QUERCY

La carte de répartition des dépressions karstiques (cf. pl. n° 2) sur les causses du Quercy et leurs voisinages montre une distribution subméridienne des cuvettes, entre le bassin permien de Brive et le massif de La Grésigne, qui correspond à l'aire d'affleurement des formations jurassiques. Il est évident que cette morphologie karstique ne peut affecter, à part quelques exceptions dont nous parlerons plus loin, que les roches carbonatées.

On peut faire les observations suivantes :

- les dolines se rencontrent dans tous les faciès (calcaires micritiques, oolitiques, dolomitiques et crayeux) les plus fortes densités se localisent dans les calcaires micritiques jurassique, principalement dans le Bathonien, le Callovien et le Portlandien (cf. tab. n°1), elles sont exceptionnelles dans les faciès crayeux crétacés et tertiaires.
- les cuvettes héritées se localisent principalement au nord du causse de Martel.
- au sud du causse de Limogne, les dolines sont moins nombreuses, elles jalonnent seulement la bande d'affleurement du Dogger en rive droite de la vallée de la Bonnette et en bordure des gorges de l'Aveyron, les ouvalas, les poljés sont quasiment absents au sud de la vallée du Lot.
- quelques rares dolines cuvettes affectent des terrains non carbonatés par soutirage localisé de terrains argilo-graveleux, tel est le cas des dolines situées au nord d'Uzech-les-Oules qui sont dans les argiles à graviers tertiaires (formation de St.-Denis-Catus), dans la vallée du Lot à Caillac et Mercuès (alluvions des terrasses du Lot) et dans les marnes et argiles liasiques (Toarcien) de Faycelles et de St.Antonin-Noble-Val (Laussier).
- Les groupes importants de dolines et d'ouvalas sont souvent localisés à proximité d'anticlinaux (La Brauhnie, Flaujac-Gare, Mandavy, etc...) ou de zones fracturées (Lacisque<sup>4</sup>, Le Sireyjol<sup>5</sup> et Sénailac-Lauzès. Dans ces zones particulièrement fracturées un meilleur drainage est certainement favorable à la création de dolines.
- Il semblerait que la rareté des dolines sur les parties médianes et occidentales du Causse de Limogne soit en relation avec la présence résiduelle de sédiments argileux tertiaires fossilisant la paléosurface paléogène ; ceux-ci auraient colmaté la plupart des fractures, à proximité de la paléosurface, au moment de la sédimentation palustre.
- Sur le Causse de Gramat, l'érosion aurait précocement enlevé cette tranche superficielle colmatée ou alors les fractures auraient été colmatées pareillement par des dépôts plus poreux (sables peu argileux ?).
- Seuls les secteurs localisés sur la bordure orientale du Causse de Limogne (Caylus, St.-Antonin-Noble-Val et Cazals), dominants les vallées de la Bonnette et de l'Aveyron possèdent de nombreuses dolines. Cette particularité aurait pour origine un drainage plus efficace du karst par les circulations souterraines actives à proximité immédiate des vallées.

---

<sup>4</sup> Lacisque : hameau 8 km au Nord de Souillac.

<sup>5</sup> Le Syreyjol : hameau 10 km au Nord de Souillac.

---

***Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.*** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

**REPARTITION DES DOLINES DANS LA LITHOSTRATIGRAPHIE**

<b>LOCALISATION</b> Commune - Lieu-dit	<b>NOMBRE DE DOLINES</b> AU km <sup>2</sup>	<b>LITHOLOGIE</b>	<b>STRATIGRAPHIE</b>
Lachapelle-Auzac : nord du Boulet	30	Calcaires micritiques de Cabrerets	" Callovien "
Cuzance : Laciste	30	Calcaires micritiques de Marcilhac	Callovien à Bathonien
Loubressac : Les Azes	10	Calcaires micritiques de La Bouye	Bathonien à Bajocien
Flaujac-gare : Ouest de Scelles	30	Calcaires micritiques de La Bouye	Bathonien à Bajocien
Caniac-du-Causse : La Maison de Lalo	30	Calcaires oolitiques de St.-Géry	" Callovien "
Sénaillac-Lauzès : Artix	30	Brèches de Vers et calcaires micritiques	Kimméridgien à Oxfordien
St.-Martin-de-Vers : Fages	10	Calcaires et marnes de Francoulès	Kimméridgien supérieur
Crayssac : Missère	15	Calcaires dolomitiques en dalles	Portlandien
St.-Matré : Les Barrades	6	Calcaires crayeux lacustres	Oligocène supérieur
Caylus : La Nauze	10	Calcaires micritiques de La Bouye	Bathonien à Bajocien
St.-Antonin-Noble-Val : Tabarly	15	Calcaires micritiques de Marcilhac	Callovien à Bathonien
St.-Antonin-Noble-Val : La Ficade	10	Calcaires micritiques de Cabrerets	Callovien à Bathonien
Cazals : Bourdoncle	15	Calcaires micritiques et marnes	Kimméridgien

Tab. n° 1

---

**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

## ESSAI DE DATATION

**Les grands ouvalas du Causse de Martel** ont certainement une origine très ancienne qui peut remonter au **Crétacé inférieur** (Simon-Coinçon et Astruc, 1996).

**Les cuvettes héritées** des environs de Gignac et Cressensac (Causses de Martel), de Soulomès, Sabadel-Lauzès, Artix et Doménac (Causse de Gramat) et de Berganty (Causse de Limogne) appartiennent à un ensemble de cavités paléokarstiques creusées sous couverture au **début du Tertiaire** (Astruc J.G., 1987), puis déblayées partiellement au cours du Quaternaire.

Les dolines désorganisent souvent l'amont des vallées sèches, un âge plus récent que l'installation des vallées sèches au Pliocène pourrait leur être attribué. Dans les faits, il semblerait que celles-ci, en fonction de leur morphologie pourrait s'être formées pendant la quasi-totalité du Quaternaire.

Les **dolines cuvettes oblitérant l'amont des vallées sèches**, et les **poljés** seraient des formes anciennes **quaternaires**.

**Les dolines cuvettes qui sont localisées sur la terrasse "mindellienne" de la vallée du Lot** (Mercuès, Caillac et Espère) sont forcément **post-mindelliennes**.

Les **dolines en baquet résultant de cavités décapitées par l'érosion** et partiellement déblayées de leur remplissage ont pu se former à **n'importe quel moment du Quaternaire**. En effet l'abrasion du toit de la cavité par la surface d'érosion, ou son effondrement est tout à fait fortuit.

Les **dolines-puits** et peut être **les dolines entonnoirs** qui se localisent parfois à l'intérieur de vallée sèches et dans leurs tronçons aval (Igues des environs de Cahors, Aujols, etc.), sont pour la plupart en relation directe avec les grands systèmes karstiques fonctionnels (Les Chartreux, L'Ouyse, Les Vitarelles, La Diège). Elles seraient donc contemporaines des grandes circulations karstiques actuelles. Nous serions tentés de considérer que ces dolines puits auraient un âge Pléistocène supérieur. Cette datation serait en accord avec la l'excellente conservation de la géométrie de leurs parois.

Jean, Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon, août 2008

## PRINCIPALES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTRUC J. G. (1988) - Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Document du B.R.G.M. n°133, 135 p.

ASTRUC J. G. (1992) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint-Géry (857). Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, environ 60 p. Carte géologique par ASTRUC J.G. (1992).

ASTRUC J. G. et R. SIMON-COINÇON (1992) - Enregistrement de l'évolution climatique et tectonique par les paléokarsts (exemple du Quercy et de ses marges). In " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 497-508.

CAVILLE A. (1961) - Morphologie et karst des Causses du Quercy. Ann. Spéleo., 1961, t. XVI., pp. 113-131.

CAVILLE A. (1974) - Essais de datation du karst dans le nord-est du bassin Aquitain. In Mém. et Doc., vol. 15, t. 2, pp. 307- 319.

CAVILLE A. (1974) - La région des phosphorites du Quercy. *Paleovertebrata*, vol.6, pp. 5-19.

CLOZIER R. (1940) - Les Causses du Quercy. Contribution à la géographie physique d'une région calcaire. Baillièrè éd., Paris, 183 p.

---

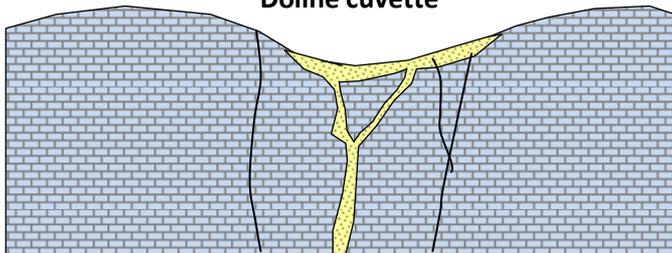
**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

- COUSTOU J.-C. (1977) - A propos de l'hydrographie de la partie Nord du Causse de Gramat. Spélunca, n° 1 p. 9-10.
- FABRE J.-P. (1983) - Etude hydrologique de la partie sud-ouest du causse de Martel (Quercy). Thèse 3ème cycle, Univ. de Toulouse et Lab. Souterrain du CNRS de Moulis.
- FENELON P. (1967) - Phénomènes karstiques. *In* Mém. et Doc., vol. 4, édit. CNRS, pp. 20-68.
- GEZE B. (1937) - Etude hydrogéologique et morphologique de la Bordure SW du Massif Central. Ann. Inst. Nat. Agron. Paris, t. XXIX, 81 p.
- LARRIBE D., (1979) - Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la rivière souterraine de Padirac. *In* Padirac 1979, résultat du dernier cycle d'explorations, Millau 1979, p. 47-51.
- MAURY G., (1976) - Quelques mots sur les dolines. Bull. Soc. Etudes du Lot, fasc. 4, pp. 262-263.
- MARCHAND Th. (1980) - Le milieu naturel du causse de Gramat, approche de géomorphologie karstique. Mémoire de maîtrise, Univ. de Tours.
- MUET Ph. (1985) - Structure, fonctionnement et évolution de deux systèmes aquifères karstiques du nord du Causse de Martel (Corrèze). Thèse 3ème cycle, Univ. d'Orléans et Lab. Souterrain du CNRS de Moulis.
- NICOD J. (1972) - Pays et paysages du calcaire. Edit. PUF (Paris). 244 p.
- PHILIPPE M., JAUBERT J. et ROUZAUD F. (1986) - Le Gisement paléontologique et préhistorique de la rivière souterraine de Padirac (affluent R. de Joly), commune de Miers (Lot, France) : principaux résultats de l'expédition << Padirac 1985 >>. Bull. Soc. Linnéenne de Lyon, t.55, fasc. 8, p. 265-28.
- RENAULT P. (1971) - Le Causse de Gramat. Actes Coll. Karsto. Spéleo. CRDP, Caen, p.63-72.
- RENAULT Ph. (1971) - Le Causse de Gramat. *In* actes du Colloque International de Karstologie et d Spéléologie (21-25 août 1971). Edit. CRDP, Le Mans 1972.
- RENAULT Ph., SIMON-COINÇON R. et ASTRUC J. G. (1992) - Problèmes des Causses du Quercy. *In* " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 469-496.
- SALOMON J.-N., ASTRUC J. G. (1992) - Exemple en zone tempérée d'un paléocryptokarst tropical exhumé (La cuvette du Sarladais, Dordogne). *In* " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 431-447.
- SERONIE-VIVIEN M. (1994) - Exceptions floristiques sur le Causse de Gramat : les dépressions karstiques de la Braunhie (Lot). Bull. Soc. linn. Bordeaux, 22 (3), p. 167-174.
- SIMON-COINÇON R., ASTRUC J. G. (1990) - Aplanissements et paléotopographies du sud-ouest du Massif Central : genèse et marqueurs. La Terre et les Hommes, Publ. Fac. Lett. Sci. hum., Univ. Clermont-Ferrand, Fasc. 32, p. 45-62.
- SIMON-COINÇON R., ASTRUC J. G. (1991) - Les pièges karstiques en Quercy : rôle et signification dans l'évolution des paysages. Bull. Soc. géol. France, t.162, n°3, pp. 595-605.
- SIMON-COINÇON R. et ASTRUC J. G. (1996) - Silicifications et milieux sulfatés : le paléoenvironnement des cuvettes du Causse de Martel (Dordogne, Lot, France). "Paléopaysages et paléoaltérations du Causse de Martel". Colloque formations superficielles et géomorphologie -Rouen 1996-Livre des résumés.
- VIROL F. (1982) - Recherches sur les karsts et les formations superficielles du Quercy (causses de Gramat, Limogne, Saint-Chels). Mémoire de Maîtrise 4ème année, Univ. de Paris I.
- VIROL F. (1987) - Le contact Massif Central Bassin aquitain au niveau du Lot moyen et du Célé : enseignements fournis par les formations superficielles d'âge secondaire et tertiaire en matière d'évolution géomorphologique. Thèse de Doctorat. Univ. de Paris I, lab. géogr. phys.

---

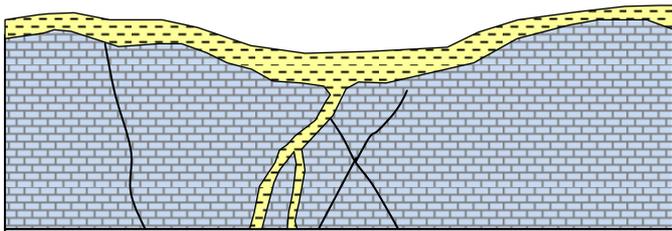
**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

**Doline cuvette**



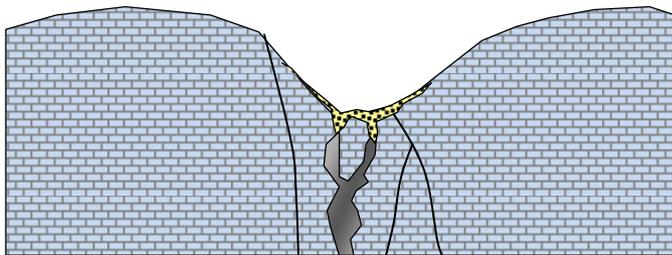
**Calcaires massifs ou en bancs** : remplissage assez perméable.  
**Calcaires argileux** : remplissage peu perméable, inondation fréquentes.

**Doline cuvette sous couverture**



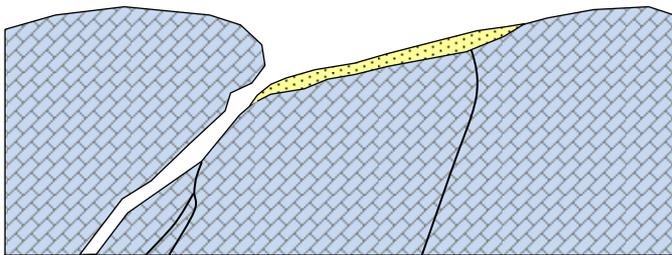
**Couverture argileuse, ou argilo-sableuse** : inondations périodiques.

**Doline cuvette à points d'absorption**



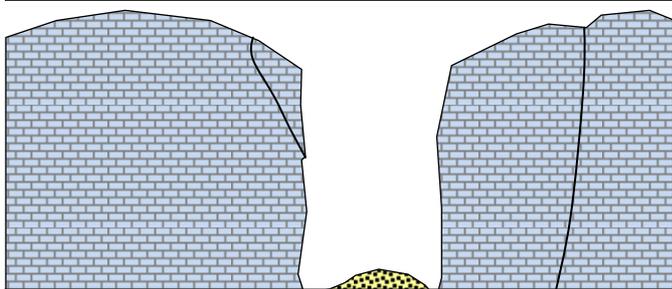
Doline à forte activité, possibilité d'évolution en doline puits.

**Doline dissymétrique structurale**



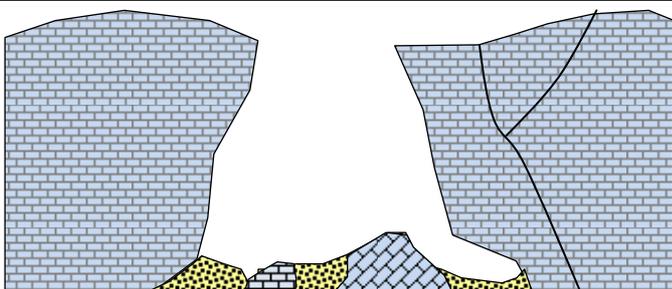
La position du point d'absorption est commandée par le pendage. Le point d'absorption est souvent masqué par le remplissage.

**Doline puits**



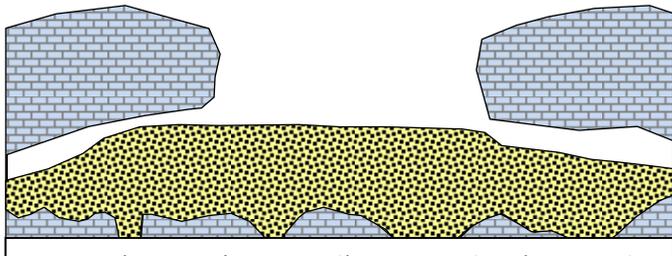
Forme héritée d'une doline entonnoir.

**Doline d'effondrement**



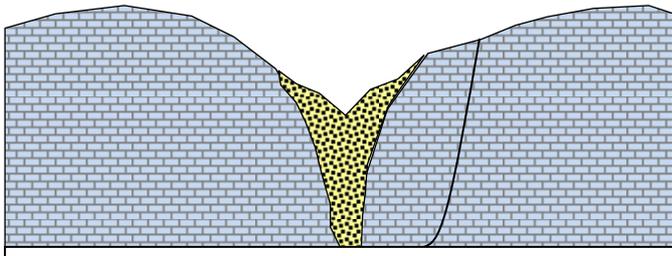
Forme provoquée par l'effondrement d'une cavité.

**Doline en baquet**



La cavité peut être complètement colmatée par des remplissages argilo-sableux ou des éboulis.

**Doline entonnoir**

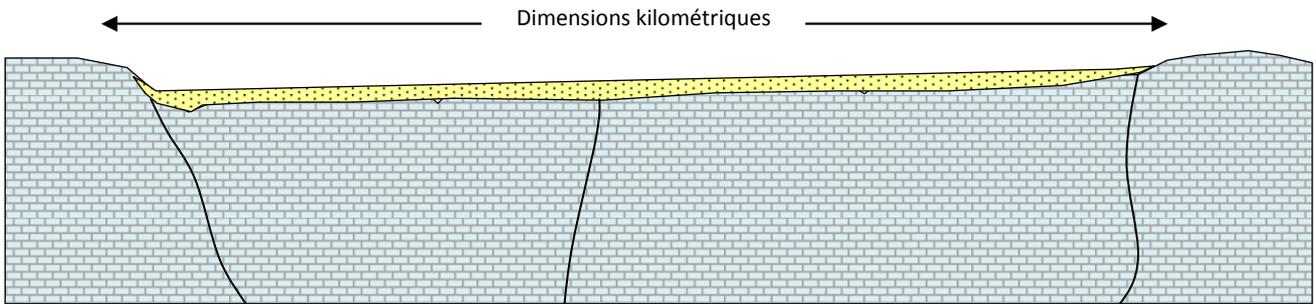


Remplissage mobile, soutiré par une cavité sous-jacente.

**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

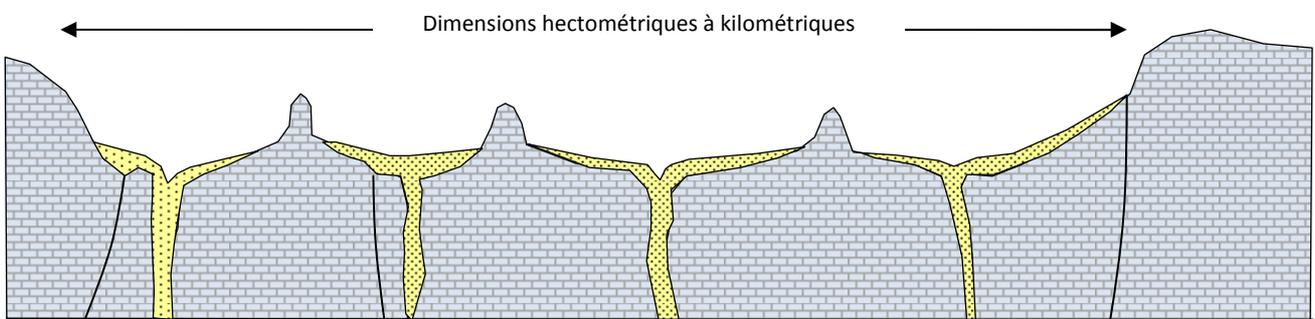
## Planche annexe n° 2

### POLJÉ



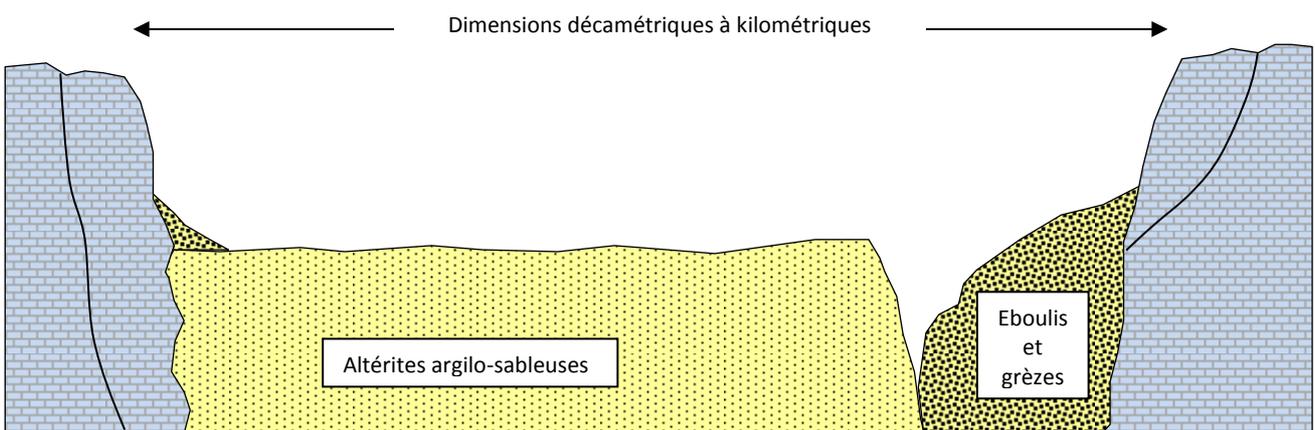
Les vastes cuvettes à fond plat des Alix (Rocamadour) et de Saint-Géry (Causse de Pasturat) sont des formes batardes entre la méga-doline et le poljé. Elles possèdent des remplissages épidermiques et une zone d'absorption peu marquée.

### OUVALA



Forme résultant de la coalescence de plusieurs dolines, les hums sont des cloisons résiduelles.

### CUVETTE HÉRITÉE



Cavité paléokarstiques partiellement déblayée de son remplissage argilo-sableux par soutirage. Forme abondantes sur le causse de Martel.

**Les dépressions karstiques sur les causses du Quercy.** Extrait de Quercy-Recherche n° 83, janvier février 1996. Texte actualisé en août 2008 (Jean-Guy Astruc et Régine Simon-Coinçon) .

# Le fontis de l'aire de Peuch Montat

Philippe Muet

GINGER Environnement Limoges, Route de Nexon - BP885 - 87016 LIMOGES Cedex [p.muet@gingergroupe.com](mailto:p.muet@gingergroupe.com)

Dans le fond d'une doline en sortie de bassin multifonction de l'aire de Peuch Montat (autoroute A20, près de Cressenssac, Lot) un fontis important (6 à 7 m de diamètres sur 2 à 3 mètres de profondeur) s'est formé.

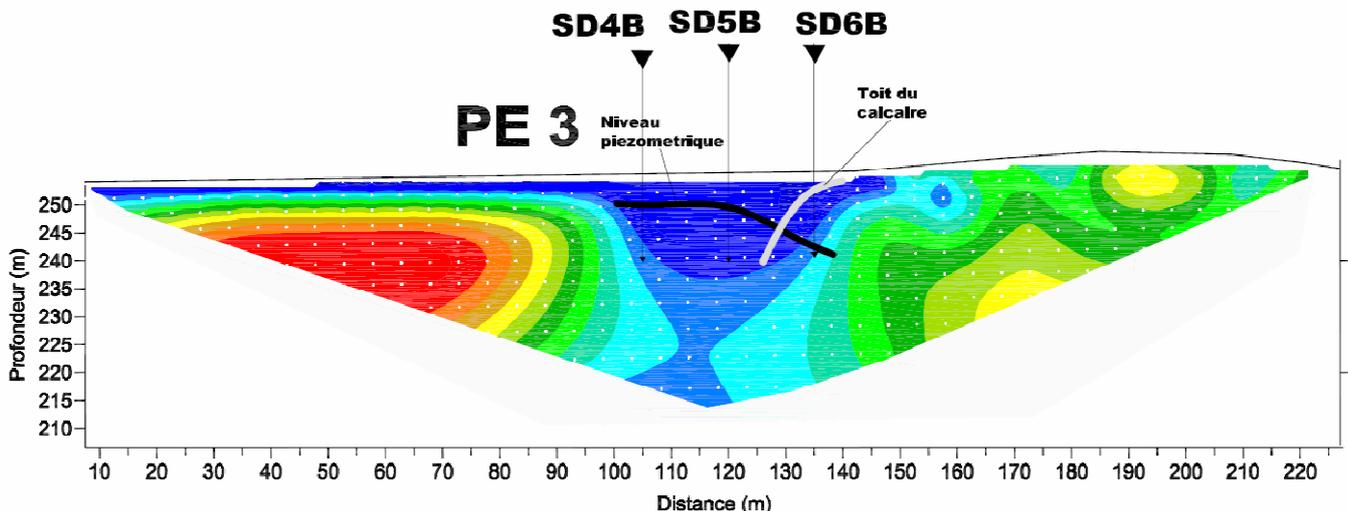
Pour en connaître l'origine et proposer des solutions à ASF nous avons associé des investigations :

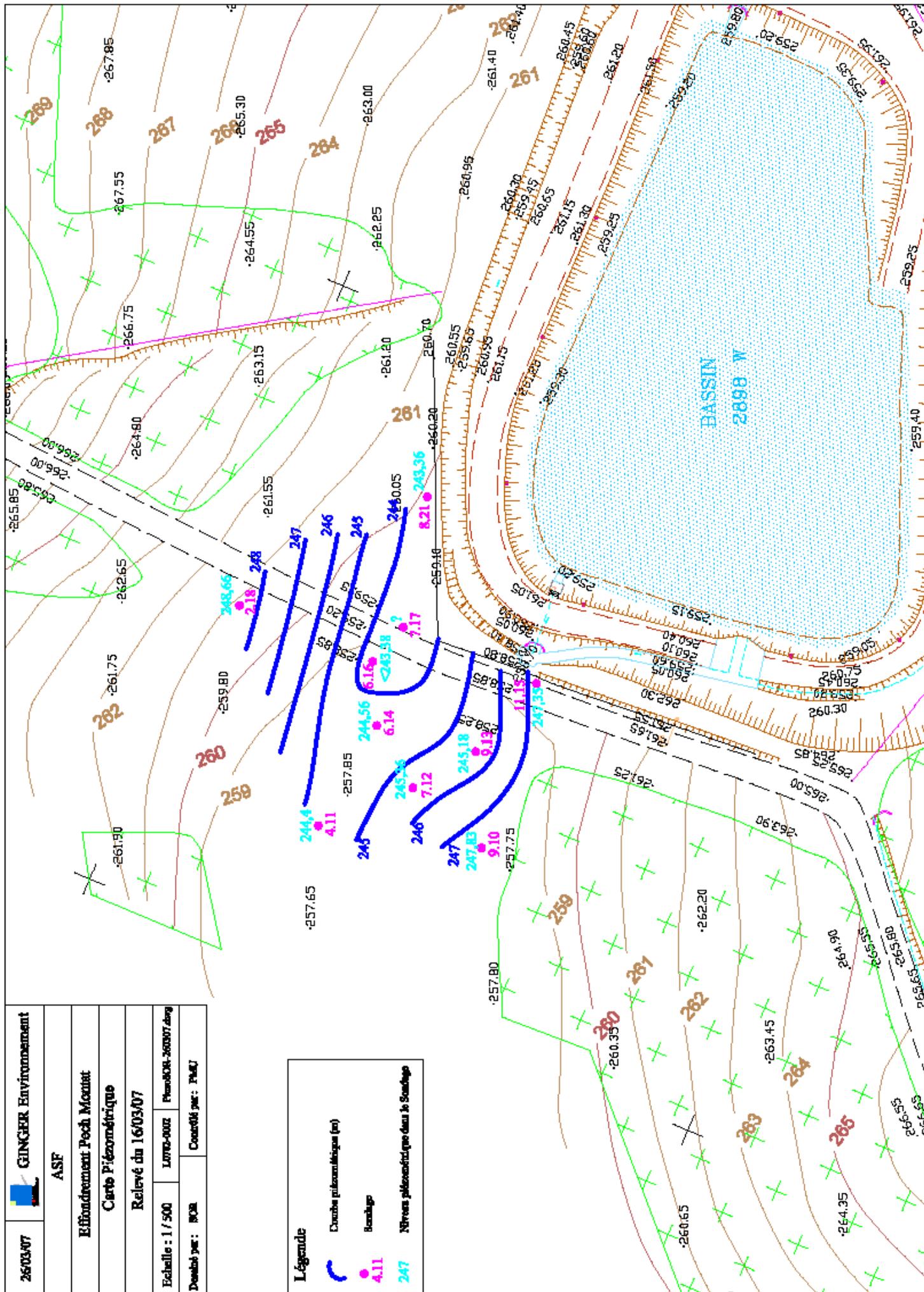
- géophysique (panneaux électriques et micro gravimétrie,
- sondages destructifs avec enregistrements de paramètres,
- hydrogéologie (carte piézométrique).

Le croisement de ces méthodes a montré très nettement que l'origine de l'effondrement était la suffosion, c'est à dire l'entraînement de fines vers une cavité karstique situé à l'ouest de la doline. La présence d'une nappe perchée dans les formations superficielles est à l'origine du phénomène qui a été amplifié par les rejets de l'autoroute.

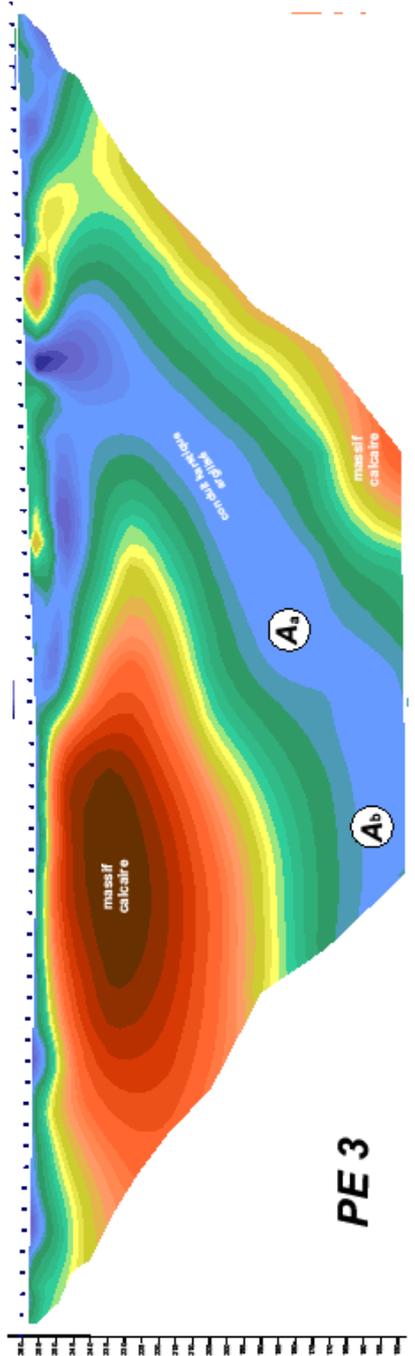
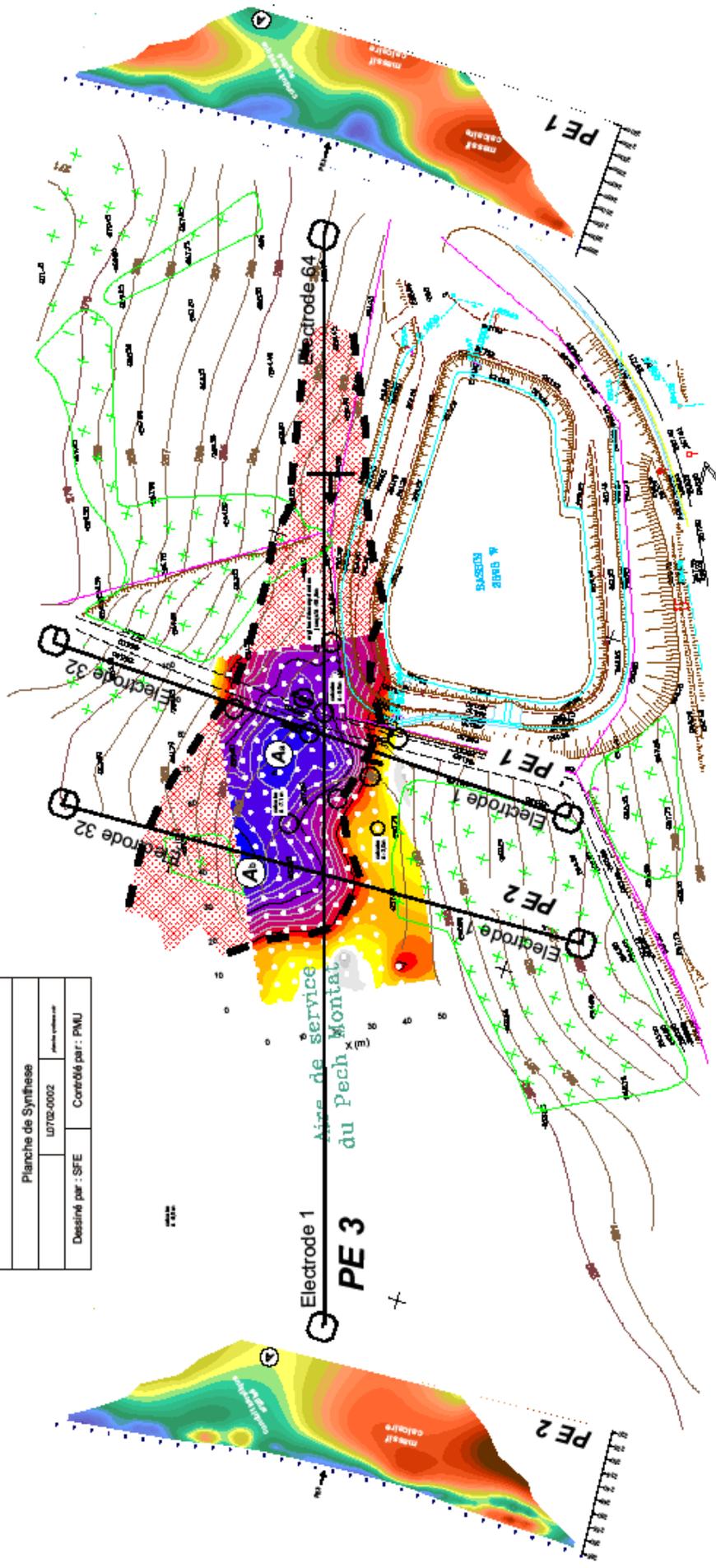
La solution était donc de limiter les infiltrations d'eau dans cette doline. La technique choisie a été le transport des eaux pluviales en dehors de cette zone.

On aurait pu également injecter l'eau directement dans la cavité en profondeur mais le traitement des eaux pluviales issues de l'autoroute posait alors des difficultés d'ordre technique et d'entretien.





26/03/07		groupe
		ASF
Efondement Pech Montat		
Planchette de Synthèse		
L0702-0002		
Dessiné par : SFE		
Contrôlé par : PMU		





# LE SITE ARCHEOLOGIQUE DES FIEUX, MIERS, LOT

Vincent MOURRE,  
UMR 5608 - Traces, Université de Toulouse le Mirail

## 1. PRESENTATION GENERALE

Le site des Fieux se trouve dans la partie septentrionale du Causse de Gramat, au nord du Quercy (Fig. 1). Il se situe sur la commune de Miers (Lot), à environ 3 km au nord-ouest du village. Il relève du territoire de la Communauté de communes du Pays de Padirac (Alvignac, Lavergne, Mayrinhac-Lentour, Miers, Padirac, Rignac, Thégra) et se trouve sur un terrain acquis par cette structure intercommunale.

Il se situe dans une boucle de la Dordogne, distante d'environ 6 km au nord et à laquelle il est possible d'accéder depuis le site en empruntant une vallée sèche. Comme l'ensemble des causses en calcaire jurassique du Quercy, l'environnement est marqué par un fort contraste entre un réseau hydrographique souterrain très développé et des écoulements de surface quasiment inexistantes. Le site s'ouvre sur le plateau, à environ 250 m d'altitude.

Des indices d'occupation humaine sont présents dans plusieurs gisements distincts, dont une grotte ornée se prolongeant par une galerie karstique aujourd'hui sous-cutanée, effondrée dans sa partie centrale (« locus 1 »), et un gisement de plein air (« locus 2 ») (Fig. 2). Le réseau karstique du locus 1 s'est creusé en régime noyé au Tertiaire, au sein de calcaires lithographiques du Bathonien (Jurassique moyen). L'ouverture du karst à l'air libre, suite à l'érosion des terrains sus-jacents et à l'amincissement progressif de la voûte, remonte probablement aux débuts du Quaternaire. Elle a conduit à la formation d'un aven où se sont succédés des chasseurs-cueilleurs porteurs d'industries moustériennes, aurignaciennes, gravettiennes, solutréennes et sauveterriennes (Fig. 3). Les derniers niveaux de la séquence ont livré quelques rares indices de fréquentation datant du Néolithique, de l'Âge du Bronze et du Moyen Âge.

## 2. HISTORIQUE DES RECHERCHES

La grotte ornée des Fieux a été découverte le 2 novembre 1964 par le propriétaire des lieux d'alors, M. Caminade, et une équipe du Spéléo-Club de Bergerac composée de MM. J. Bouchereau, F. Feltrin, J. Guilhem, N., T. et J. Lesur, L. et C. Perrier. Cette équipe était à la recherche d'un accès vers la rivière souterraine de Padirac et elle entreprit des travaux de désobstruction à l'entrée de la cavité, qui n'était alors qu'un étroit boyau inscrit entre le sommet du remplissage archéologique du locus 1 et la voûte de la grotte. Les inventeurs notèrent rapidement la présence de figurations pariétales, dont des mains négatives (Champagne et Jaubert 1981, Champagne *et al.* 1990, Lorblanchet 2004).

En 1966, des travaux destinés à faciliter l'accès à la grotte ornée conduisirent à la découverte de vestiges archéologiques sauveterriens. Le propriétaire alerta L. Méroc, alors Directeur des Antiquités préhistoriques de Midi-Pyrénées qui sollicita F. Champagne et R. Espitalié pour une intervention archéologique alors prévue pour être de courte durée.

Des fouilles furent conduites aux Fieux par ces deux chercheurs puis par F. Champagne seul de 1966 à 1999 (*cf. notamment* Champagne 1977, 1980, 1982a, 1982b, 1986-87, 1994, 1996, 2000a, 2000b, Champagne et Champagne 1995a, 1995b, Champagne et Espitalié 1972, Champagne et Jaubert 1981, 1986, Champagne *et al.* 1990, 1996, Clottes 1973, 1975, 1977, 1979, 1981, 1983, 1985, Méroc 1967, Simonnet 1971).

En 1999, une intervention ponctuelle de N. Valdeyron a concerné les niveaux sauveterriens sous le porche ouest (nettoyage, réfection des coupes, prélèvements) (Valdeyron 2000). La dernière opération en date a eu lieu en 2005 : elle a consisté en un suivi des travaux liés à la protection du locus 1 par une structure de couverture (Jarry 2006).

Outre les comptes-rendus préliminaires publiés par les fouilleurs, l'importante séquence des Fieux est connue par un certain nombre de travaux universitaires (Jaubert 1979, 1984, Belounis 1987, Marcus 2000, Turq 2000, Faivre 2002, 2003, Guillermin 2004, Thiébaud 2005, Gerbe *en cours*), de synthèses régionales (Brugal et Jaubert 1996, Jaubert 1997, 1999, Jaubert et Farizy 1995) et d'articles thématiques (Faivre 2004, 2006, Jeannet 1978, Le Gall 1990, 2000). Un dernier volet de contributions a été publié ou est en cours de publication, notamment dans le cadre des travaux de l'Action Collective de Recherche *Cultures et environnements paléolithiques : mobilités et gestions des territoires des chasseurs-cueilleurs en Quercy* (Bon et Bordes 2005, Bon *et al.* à paraître, Brugal *et al.* à paraître, Chalard 2005, Chalard *et al.* 2006, 2007, Faivre *et al.* à paraître, Gerbe 2005, Guillermin 2005, Jeannet 2003, à paraître, Kervazo *et al.* à paraître, Turq *et al.* à paraître).

### 3. NATURE, PERIODE ET IMPORTANCE DU SITE <sup>1</sup>

#### 3.1. Grotte ornée des Fieux

La grotte ornée des Fieux, classée Monument Historique le 17 janvier 1967 <sup>2</sup>, a fait l'objet de nombreuses descriptions et études (*cf. notamment* Glory 1965, Nougier et Barrière 1965a, 1965b, Leroi-Gourhan 1971, Lorblanchet 1984, 1996, 2004, Bouchard 1998). Elle comporte une salle unique d'une trentaine de mètres de longueur sur une quinzaine de mètres de largeur à laquelle on accède par un couloir bas d'une vingtaine de mètres. Les figurations recensées comportent treize mains négatives complètes dont onze rouges et deux noires, de nombreuses ponctuations digitales et des bâtonnets rouges ainsi que des gravures et piquetages sur un bloc isolé couvert de formations stalagmitiques au centre de la salle (un bouquetin, deux mammoths, une ligne dorsale de cheval, un tectiforme, etc.).

L'essentiel des figurations a été rattaché à la phase ancienne de l'art paléolithique quercinois, avec éventuellement une première phase aurignacienne (gravure par piquetage) et une phase gravettienne (mains négatives associées à des ponctuations comme à Pech Merle, aux Merveilles, à Roucadour ou à Frayssinet le Gélât). Les mammoths, gravés par incisions fines recoupant des traits piquetés et des mains négatives, pourraient être plus récents (Lorblanchet 2004).

#### 3.2. Locus 1

Le locus 1 a livré une séquence complexe puissante de plus de neuf mètres. Il a été subdivisé artificiellement en trois secteurs : porche ouest, secteur central et porche est.

---

<sup>1</sup> - sauf mention contraire, d'après Champagne et Jaubert 1981 et Champagne *et al.* 1990.

<sup>2</sup> - le gisement préhistorique a été inscrit MH par arrêté du 9 février 1993.

Le substrat n'a pas été atteint. La base reconnue de la séquence correspond à un dépôt de cailloutis d'origine cryoclastique associé à des industries du **Paléolithique moyen**. Elle n'a été explorée que dans le secteur du porche ouest.

Le niveau M1 a livré les restes de plusieurs jeunes mammouths associés à une faune froide (Cheval, Renne, Bison). La présence de vestiges lithiques en nombre limité dans ce niveau traduit probablement la fréquentation épisodique du site par des groupes humains exploitant des ressources carnées piégées naturellement (Brugal et Jaubert 1996, Jaubert 1997).

Dans les niveaux moustériens ultérieurs (en particulier K à G7), le stock faunique pourrait résulter d'un piégeage anthropique actif tirant parti de la configuration naturelle du site. La faune est abondante et bien conservée ; elle est dominée par les grands bovidés (Bos/Bison ?) suivis des Cervidés, du Cheval et du Sanglier (Guadelli *inédit*, Gerbe 2005 et *en cours*).

La couche K a livré une riche industrie produite essentiellement aux dépens de quartz, quartzite et silex, tous d'origine locale ou proche (2 à 12 km). Le débitage Discoïde est dominant et a pour objectif la production d'éclats ordinaires, d'éclats à dos cortical ou de débitage et de pointes pseudo-Levallois. Le débitage Levallois est attesté par trois nucléus en silex. L'outillage comprend de nombreuses pièces à retouche partielle irrégulière, des denticulés et des encoches. Il convient de mentionner la présence d'un fragment de biface sur éclat de quartzite. Cette industrie a été rattachée au Moustérien à denticulé (Jaubert 1984, Thiébaud 2005, Thiébaud *et al. à paraître*).

La couche Ks, identifiée dans le secteur central, avait été perçue lors de la fouille comme le sommet de la couche K connue dans le secteur ouest. Il semble que ces deux unités stratigraphiques soient nettement distinctes d'un point de vue géologique et archéologique. En effet, même si elle comporte des nucléus Discoïdes sur quartz et quartzite, la couche Ks a livré quelques produits Levallois et de nombreux sous-produits de façonnage de biface en silex exogènes, parfois repris en racloirs. Cette industrie a été rapprochée du Moustérien de Tradition Acheuléenne (Faivre 2003, 2006).

L'industrie de la couche G7 est à nouveau marquée par la mise en œuvre d'un débitage Discoïde sur quartz, quartzite et silex, parfois aux dépens de grands éclats pour ce dernier matériau. La production est orientée vers l'obtention d'éclats opposant un bord épais et abrupt (talon, dos de débitage, dos cortical) à des tranchants convergents. L'outillage est dominé par les denticulés et les encoches (Faivre 2002, 2004).

Une tentative de datation radiométrique par U/Th sur ossements effectuée par Ch. Falguères s'est soldée par un échec. Cette expérience a permis de montrer que les ossements constituaient un milieu ouvert et ne pouvaient donc être datés par cette méthode. En revanche, la mise en œuvre de méthodes développées depuis (telles que la RPE sur émail dentaire) reste envisageable (Falguères *in litteris*).

D'après les données biochronologiques (microfaune, grande faune), il est probable que les niveaux moustériens des Fieux se rapportent au Dernier Interglaciaire et à une grande partie du Dernier Glaciaire (fin OIS 5 à OIS 3) (Jaubert 1997, 1999).

Un niveau d'effondrement (G4) et plusieurs niveaux pauvres en vestiges (G3-G1) scellent la séquence moustérienne dans le secteur central et marquent le passage aux niveaux attribués au **Paléolithique supérieur**. Ceux-ci sont présents dans l'ensemble du locus 1 mais ont été individualisés plus clairement au niveau du porche est et dans le secteur central. Ils comprendraient des niveaux aurignaciens (F2a, b et c), gravettiens (F1b et F1c), solutréen (F1a) et un niveau extrêmement riche (E) dont l'attribution chrono-culturelle est longtemps restée incertaine : le fait qu'il paraisse postérieur au Solutréen a conduit F. Champagne à le

qualifier tour à tour d'Épipaléolithique (Champagne et Jaubert 1981), de Périgordien évolué ou de proto-Magdalénien (Champagne *et al.* 1990). Récemment, P. Guillermin a pu démontrer que l'industrie de la couche E était gravettienne (présence de pointes et micro pointes de la Gravette, nucléus bipolaires prismatiques) même si elle relevait d'un faciès typologique original (Guillermin 2004 ; *cf. également* Chalard *et al.* 2006). L'industrie solutréenne de F1a est en réalité un assemblage hétérogène d'éléments gravettiens et de rares outils solutréens provenant d'une zone où la couche E disparaît. Le niveau gravettien F1c a été daté de  $23\ 900 \pm 330$  BP (Gif 6304).

Sous le porche ouest essentiellement, les niveaux D1 à D3 ont livré une industrie mésolithique rattachée à un **Sauveterrien** ancien, à nombreux microlithes géométriques, pointes de Sauveterre et pointes de Tardenois. Deux datations au radiocarbone ont été publiées à ce jour :  $9\ 450 \pm 190$  BP (Gif 1807) et  $9\ 060 \pm 190$  BP (Gif 1281). Ces niveaux ont également livré de petits foyers et des éléments de parure.

Le sommet de la séquence est marqué par des indices de fréquentation ponctuelle au **Néolithique** (couche C) et au **Moyen Âge** (couche B), ces derniers pouvant être mis en relation avec le couvent des Fieux, datant du XIII<sup>ème</sup> siècle et distant de quelques centaines de mètres seulement.

### 3.3. Locus 2 et 3

Le locus 2 comprend deux secteurs distincts :

- le secteur J (pour « jonction ») est une zone d'effondrement qui comporte un porche ouvrant sur une galerie communiquant avec le locus 1. Il a livré des vestiges du **Paléolithique supérieur**, du **Néolithique** et du **Moyen Âge**.

- le secteur C (pour « chenal ») est en réalité une large faille diaclasique anciennement élargie par dissolution en milieu karstique fermé puis colmatée et enfin mise au jour par l'érosion. Il a livré essentiellement des industries attribuées au **Paléolithique moyen**, inédites à ce jour.

Un sondage isolé réalisé sous la direction de F. Champagne est situé au nord du site (Champagne 1994). Ce troisième locus – nommé « secteur nord du locus 2 » par F. Champagne et *ici* locus 3 – a livré une industrie moustérienne de type Quina. Des échantillons de calcite prélevés en position secondaire dans ce secteur ont fait l'objet de datations U/Th et ont donné des résultats peu exploitables, à savoir un âge supérieur à 338 ka BP (Fi 9408) et à 342 ka BP (Fi 9409) (Falgüeres *in* Champagne et Champagne 1995b).

## 4. TRAVAUX ACTUELS

### 4.1. Contexte

Depuis 1997, le site fait l'objet d'un projet d'aménagement et de valorisation dans le cadre de son ouverture au public. Ce projet a été engagé par la Commune de Miers, la Communauté de communes du Pays de Padirac (propriétaire du site) et le Parc naturel régional des Causses du Quercy.

Avant 2005, l'absence de structure de protection dans le secteur principal du gisement a occasionné d'importantes détériorations des témoins stratigraphiques en place. Dans la perspective d'une ouverture au public, la rectification des coupes et la remise en état du site s'imposaient. Ces travaux devaient évidemment s'effectuer dans le respect des méthodes archéologiques modernes (enregistrement systématique des observations archéologiques et de

la position des vestiges archéologiques, tamisage à l'eau des sédiments, relevé et étude géoarchéologique des coupes redressées, etc.).

Dans cette optique, une première opération, réalisée dans le cadre d'une autorisation de sondage, a eu lieu en décembre 2006 (Mourre *et al.* 2006). Elle était destinée à réaliser un nettoyage général du site et à évaluer les moyens logistiques à mettre en œuvre par la suite. Une autorisation pluriannuelle pour 2007-2009 a ensuite été sollicitée afin de mener à bien les travaux archéologiques préalables à la mise en valeur du site.

Les travaux en question ne sauraient se résumer à un simple toilettage du site : ils offrent une remarquable opportunité de traiter un certain nombre d'interrogations scientifiques encore sans réponse et devraient aboutir, à terme, à une publication monographique de ce site exceptionnel.

#### 4.2. Principaux résultats des campagnes 2006-2007

La campagne de sondage de 2006 et la campagne de fouille de 2007 (travaux de terrain coordonnés par V. Mourre, M. Gerbe et P. Guillermin) ont permis de réaliser une partie des travaux archéologiques de remise en état du site, à savoir l'évacuation et le tamisage des sédiments effondrés des coupes ainsi que le début de rectification des témoins stratigraphiques. À l'exception de quelques vestiges coordonnés, l'essentiel des vestiges fauniques et lithiques a été collecté lors du tamisage de sédiments en position secondaire. L'ensemble du mobilier collecté a été décrit et analysé (Mourre *et al.* 2006, 2007).

Les premiers résultats significatifs concernent l'étude géoarchéologique ainsi que la datation et la caractérisation des niveaux du Paléolithique supérieur.

##### 4.2.1. Géoarchéologie (G. Delfour)

Dans un premier temps, seul le sommet de la séquence, correspondant aux niveaux du Paléolithique supérieur, a fait l'objet de descriptions et de relevés détaillés, complétés par des analyses granulométriques et micromorphologiques.

L'ensemble des résultats confirme l'origine éolienne de la « couche E » identifiée lors des travaux de F. Champagne. En effet, les caractères microscopiques (nature et organisation massive) confirment cette hypothèse. De plus, il semble que cette unité stratigraphique ait subi peu de remaniements post-dépositionnels. Les traits pédologiques observés traduisent principalement l'action des racines et plus localement de la faune du sol. Les vides polyconcaves ainsi que le motif de biréfringence de la matrice sont issus de circulations d'eau. Leur développement limité laisse supposer que ces phénomènes ont peu affecté le caractère originel du sédiment.

La multiplication des prélèvements et leur analyse granulométrique apportent de nouveaux éléments sur l'extension des dépôts éoliens. À l'exception d'un échantillon prélevé dans la grande coupe du secteur ouest, tous les prélèvements présentent des courbes granulométriques au profil identique. Il semble donc que ces limons éoliens se soient déposés et conservés dans plusieurs zones du site correspondant à des dépressions définissant un chenal d'orientation nord ouest - sud est avec un pendage vers le nord ouest. D'après ces données, il est possible d'extrapoler son trajet jusqu'à la zone située entre la paroi nord de la cavité et un grand pilier stalagmitique. L'hypothèse d'un soutirage karstique peut être rejetée en raison de l'absence de

figures de déformations des couches. Le chenal serait plutôt lié aux circulations d'eau et à l'ouverture d'un passage vers un étage inférieur du réseau karstique. Il est possible que la morphologie du plateau ait favorisé le drainage de l'eau vers l'aven, qui pour se frayer un chemin vers le bas a érodé une partie des dépôts.

Les loess sont ensuite venus combler ce chenal d'érosion. Leur dépôt est contemporain d'apports provenant du démantèlement de la paroi calcaire. Les limons éoliens ont aussi alimenté les dépôts superficiels comme en témoignent les courbes granulométriques des sédiments prélevés sur le log stratigraphique au-dessus de la paroi sud et dans les dépôts du lapiaz situé aux environs immédiats du site.

Les dépôts d'origine éolienne et faiblement remobilisés sont peu connus dans la région. Des données chronologiques ainsi qu'une détermination plus précise de l'origine des ces dépôts (étude des minéraux lourds) feraient du site des Fieux une référence dans l'étude du Pléistocène du Sud-Ouest.

#### 4.2.2. Datations

Sept échantillons ont été confiés au Professeur Tomasz Goslar du *Poznań Radiocarbon Laboratory* (Pologne) en vue de l'obtention de datations radiocarbone. Il s'agit exclusivement d'échantillons osseux prélevés en stratigraphie lors de la rectification de la coupe 30-31, dans les niveaux du Paléolithique supérieur. Seuls deux échantillons ont livré des résultats considérés comme significatifs par le laboratoire (concentration en azote suffisamment élevée et rapport C/N inférieur à 5). L'échantillon ayant fourni la date la plus ancienne ( $25\,290 \pm 160$  BP) semble malheureusement devoir être mis en relation avec un important niveau remanié (terrier) révélé par l'étude géoarchéologique. La seule date à la fois considérée comme fiable par le laboratoire et en position stratigraphique sûre ( $22\,190 \pm 200$  BP) est compatible avec celle obtenue par nos prédécesseurs ( $23\,900 \pm 330$  BP) et avec une nouvelle date considérée comme peu fiable par le laboratoire ( $23\,160 \pm 290$  BP).

Ces trois dernières dates constituent un ensemble relativement cohérent correspondant aux dates du Gravettien moyen des principales séquences de référence du Sud-Ouest. Elles sont également proches de certaines datations directes obtenues pour les œuvres pariétales de la grotte ornée de Cougnac et il est tentant de proposer un rapprochement entre cette phase d'occupation et les figurations pariétales de la grotte ornée des Fieux attribuées au Gravettien.

La « couche E », rapprochée du Gravettien « moyen-récent » sur la base de critères techniques et typologiques (Guillermin 2004, Chalard *et al.* 2006), demeure donc partiellement calée chronologiquement puisque aucune date directe ni aucun *terminus ante quem* n'a pu être obtenu à ce jour. Les *terminus post quem* fournis par les trois dates évoquées précédemment incitent à la considérer comme contemporaine de la fin du Gravettien récent, voire du Gravettien final (« Protomagdalénien ») daté de  $22\,000 \pm 600$  BP à l'abri Pataud.

#### 4.2.3. Le Gravettien des Fieux (P. Guillermin)

La campagne 2007 a fourni quelques éléments susceptibles de mieux caractériser le Gravettien des Fieux. La découverte du premier burin de Noailles du gisement permet désormais d'évoquer la présence d'un Gravettien moyen à burins de Noailles aux Fieux. Force est de constater toutefois que cet élément est bien isolé et malheureusement trop mal

localisé (tamisage des sédiments effondrés de la partie nord de la coupe 30-31) pour pouvoir alimenter sérieusement cette question.

La grande majorité du matériel mis au jour en 2007 est compatible avec l'ensemble issu de la « couche E » des fouilles Champagne, qu'il s'agisse des matières premières et/ou des composantes typo-technologiques. La mise en œuvre du tamisage à l'eau systématique a permis notamment de localiser de petites lamelles à retouche marginale, le plus souvent réalisées en silex blanc porcelainé, proches de la famille des lamelles de la Picardie. Ce type de support, probablement issu de burins du Raysse, est très présent au sein du matériel issu de la « couche E » et est bien représenté dans les différents ensembles étudiés. Il confirme une attribution de l'industrie des Fieux du Gravettien « moyen-récent » (Guillermin 2006a).

L'étude du matériel lithique des ensembles sous-jacents à la « couche E » n'a pas permis pour l'instant de discerner des caractéristiques fortes qui les distinguent du mobilier de cette couche.

\*  
\* \*

Le texte qui précède est adapté des deux premiers rapports de fouille concernant les travaux en cours :

- Mourre, V., Gerbe, M. et Guillermin, P. (2006) - *Site archéologique des Fieux à Miers, Lot - travaux archéologiques préalables à la mise en valeur du site*, Rapport de sondage 2006, 55 p.
- Mourre, V., Delfour, G., Dias-Meirinho, M.-H., Gerbe, M., Guillermin, P., Lacrampe-Cuyaubère, F. et Thiébaud, C. (2007) - *Site archéologique des Fieux à Miers, Lot - travaux archéologiques préalables à la mise en valeur du site*, Fouille programmée pluriannuelle 2007-2009, Premier rapport intermédiaire, 117 p.

Les références bibliographiques sont disponibles dans les versions intégrales de ces rapports, accessibles librement sur Internet au format pdf depuis cette adresse :

<http://pagesperso-orange.fr/hachereau/autres.htm>



Fig. 1 : localisation et contexte archéologique du site des Fieux (Lot).

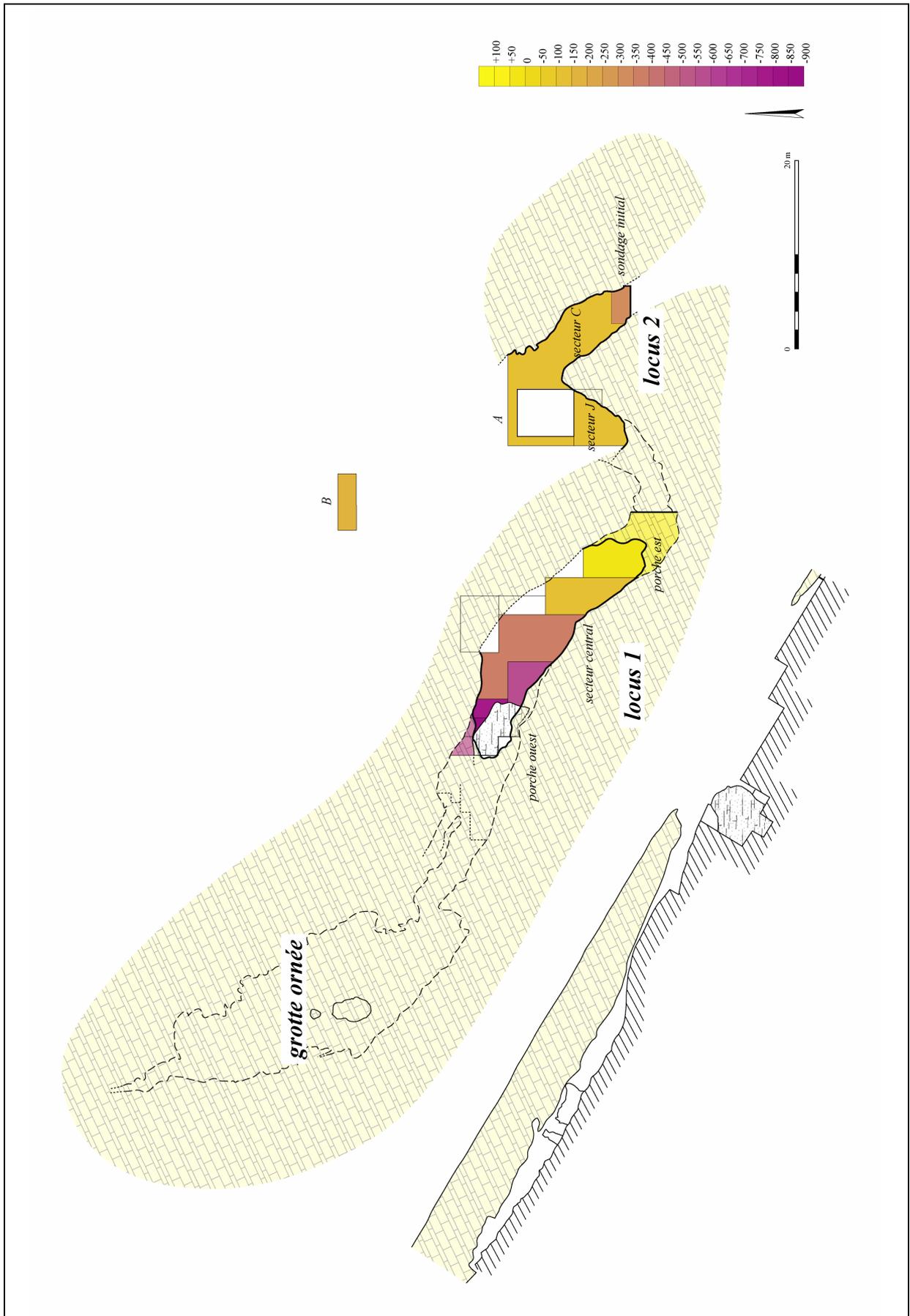


Fig. 2 : plan général du site des Fieux (d'après Champagne et al. 1990, modifié).

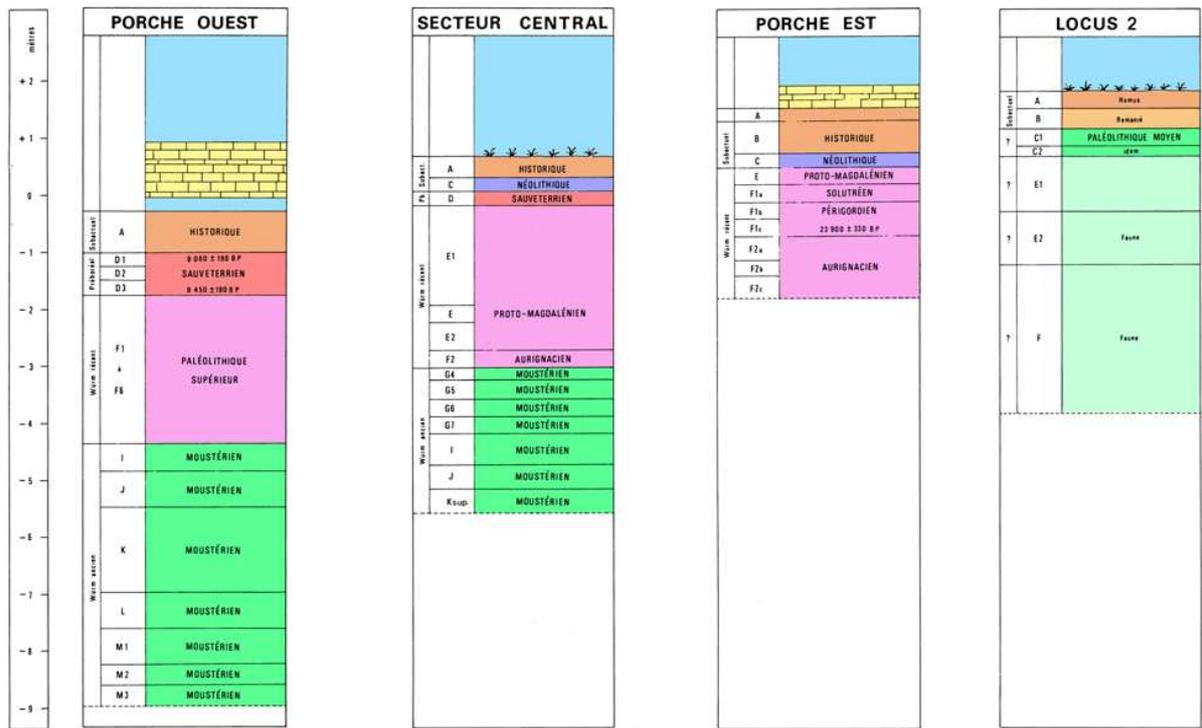


Fig. 3 : Synthèse schématique de la stratigraphie des principaux secteurs du site des Fieux (d'après Champagne et al. 1990, modifié).

# Investigations géophysiques en contexte karstique : site du Quercy

Fayçal Rejiba, Julien Pranville, Dina Kavouri et Valérie Plagnes.

UMR 7619 Sisyphe – UPMC Paris 6

## Contexte

Le développement des techniques géophysiques appliquées à la caractérisation des milieux karstifiés se poursuit depuis une quarantaine d'années et profite régulièrement de l'amélioration technologique en termes d'appareillage géophysique et de la puissance calculatoire des ordinateurs pour l'interprétation des données.

Les problématiques en milieux karstifiés sont nombreuses et s'articulent en général autour de la description du réservoir (conduits, épikarst, densité de fracturation) ainsi que de sa fonctionnalité. On distingue schématiquement quatre principaux constituants de la zone karstique : le calcaire, l'argile, l'air, et l'eau. Chacun de ces constituants a bien entendu une réponse géophysique plus ou moins discriminante suivant la méthode d'investigation utilisée. De plus, indépendamment des propriétés intrinsèques de ces constituants, c'est la problématique hydrogéologique qui va en quelque sorte imposer un choix stratégique de prospection. Cette problématique est systématiquement liée à l'emprise géométrique des cibles à caractériser ; par conséquent, l'échantillonnage spatial ainsi que le choix des méthodes géophysiques (i.e. : leur mise en œuvre) doit être adaptés au cas par cas.

Dans un souci de concision, on ramène communément l'étude géophysique d'un karst à une combinaison des problématiques suivantes :

- la détection des conduits karstiques (cavités) et leur fonctionnalité
- la détection d'un éventuel niveau de nappe phréatique
- l'imagerie du niveau de fracturation du karst proprement dit, ou/et de l'épikarst
- la détection de remplissages argileux ayant colmaté (en surface ou en profondeur) les zones karstifiées.

Les méthodes géophysiques couramment utilisées pour l'ensemble de ces aspects peuvent être utilisées en surface, en forage ou en aérien/spatial. La description précise et le cadre de prospection de l'ensemble des méthodes géophysiques appliquées au karst sort du cadre de ce

rapport et j'invite les lecteurs intéressés à consulter les recueils publiés lors du congrès USGS en 2005<sup>1</sup> sur le Karst où un état des lieux représentatif est présenté.

Dans le cadre de deux stages de Master 2 traitant de la vulnérabilité du karst dans les causses du Quercy, Julien Pranville et Dina Kavouri ont eu l'occasion de mettre en pratique deux techniques géophysiques couramment utilisées pour la prospection en proche surface : les méthodes électriques et radar dont on présentera les résultats les plus significatifs.

La problématique initialement posée concerne la production d'une carte de vulnérabilité aux infiltrations rapides sur la zone du Causse du Quercy. Cette carte de vulnérabilité est définie par les critères issus de la méthode PaPRIKA (ex-RISKE 2), dont les critères la caractérisant sont au nombre de 5 : Roche, Infiltration, Sol, Karst, Epikarst. Chacun de ces critères renseignés sur une échelle allant de 1 (le moins vulnérable à l'infiltration), à 4 (le plus vulnérable à l'infiltration) sont renseignés sur la zone d'étude, puis superposés grâce à une relation linéaire pour donner la carte de vulnérabilité finale<sup>2</sup>.

Etant donné l'emprise de la zone d'étude (quelques centaines de km<sup>2</sup>), il n'est pas envisageable dans le cadre de ces stages d'envisager une prospection à grande échelle ; l'objectif ici a été d'étudier localement des objets particuliers inhérent au contexte karstique : doline, abords d'une carrière noyée, combe naturelle.

### **Etude d'une doline par tomographie électrique<sup>3</sup>.**

L'étude géophysique a permis d'aborder un problème fondamental lié à l'infiltration des eaux en milieu karstique et de donner des pistes de réflexion à approfondir. Effectivement les objets de l'étude sont les structures des cloups (dolines) et de leurs remplissages. Ces morphologies sont utilisées dans la définition du critère I pour leur modalité d'infiltration rapide et celle du critère S pour les caractéristiques de leurs remplissages détritiques terrigènes. L'objectif est d'une part d'apporter des réponses quant à la faisabilité de mise en œuvre des méthodes géophysiques pour décrire ces objets. D'autre part de fournir des informations structurales de ces objets encore mal connus en profondeur. Ces informations

---

<sup>1</sup> U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings, Rapid City, South Dakota, September 12-15, 2005

<sup>2</sup> 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 septembre 2005 Belgrade-Kotor, Serbie.

<sup>3</sup> Pranville J., Plagnes V., Rejiba F., Tremoulet J., **2007**, Evaluation cartographique de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat (Lot), Stage Master 2 HH – UPMC.

peuvent être utiles pour toute approche de cartographie de la vulnérabilité et pour la bibliographie scientifique locale. Le caractère non invasif de la prospection permet de favoriser l'exploration tout en fournissant une imagerie de la subsurface. L'application de prospections géophysique en milieux karstiques a déjà fait l'objet de nombreuses publications, et en ce qui nous concerne la méthode électrique est le meilleur compromis vis-à-vis de l'objectif fixé : décrire sur une trentaine de mètres une doline caractéristique.

La méthode électrique est ici effectuée par la mise en place d'un panneau électrique ; c'est à dire en disposant des électrodes le long d'un profil permettant de mesurer la résistivité apparente pour chaque quadripôle (quadruplets d'électrodes : deux d'injection de courant et deux de réception pour la mesure de la différence de potentiel). La résolution des contrastes dépend :

- de la séparation entre les électrodes (résolution correspondant à peu près à la demi-distance entre les électrodes).
- de la géométrie du dispositif d'acquisition (Schlumberger et pole-dipole).

Etant donné la nature géologique à priori, les dimensions observées en surface, et la profondeur d'investigation souhaitée, deux dispositifs ont été mis en place permettant 2 niveaux de résolutions complémentaires :

- un dispositif schlumberger sur 63 m (écartement de 1m)
- un dispositif pole-dipole sur 190 m (écartement de 2m)

Les panneaux électriques mesurant initialement les résistivités apparentes (moyennes) sont par la suite inversés afin d'obtenir une cartographie des résistivités dites « vraies » au sens du modèle théoriques ayant été utilisé pour l'inversion, c'est-à-dire avec une échelle de profondeur correspondant vraisemblablement aux contrastes. Le but étant de distinguer les zones conductrices (accumulation d'argile liée à l'érosion), les zones résistantes (roches carbonatées massives ou fracturées sans remplissage) ou intermédiaire (roche carbonatée fracturée à remplissage argileux).

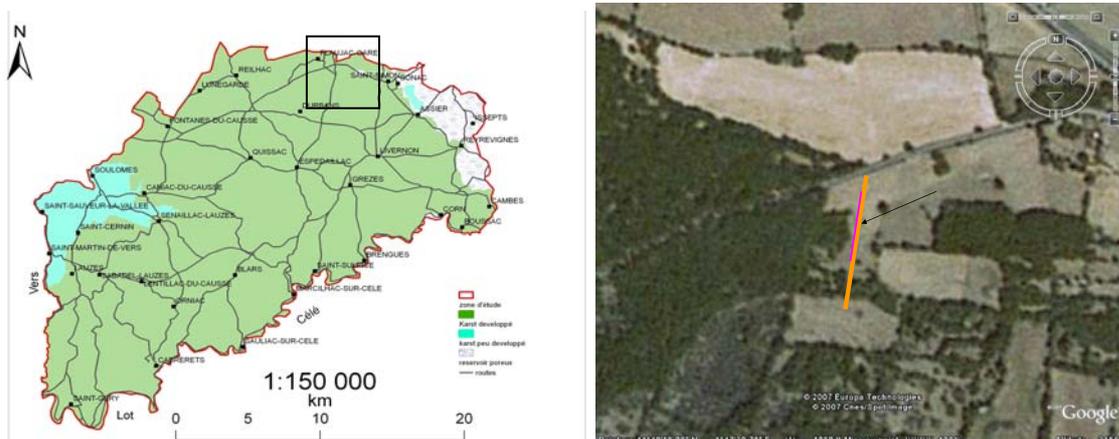
La dépression (cloup) étudiée (Figure 1) se situe dans les calcaires massifs et fracturés de l'Aalénien sup. à Bajocien. On est à proximité de la faille locale majeure de « Flaujac » orientée WNW-ESE. Le contexte géomorphologique local montre une forte densité de cloups (dolines) de morphologies de surface variables.

Le panneau électrique obtenu par le dispositif pole-dipole (Figure 2) à permis de distinguer deux zones : l'une correspondant à un remplissage conducteur (argileux limites bleues) de

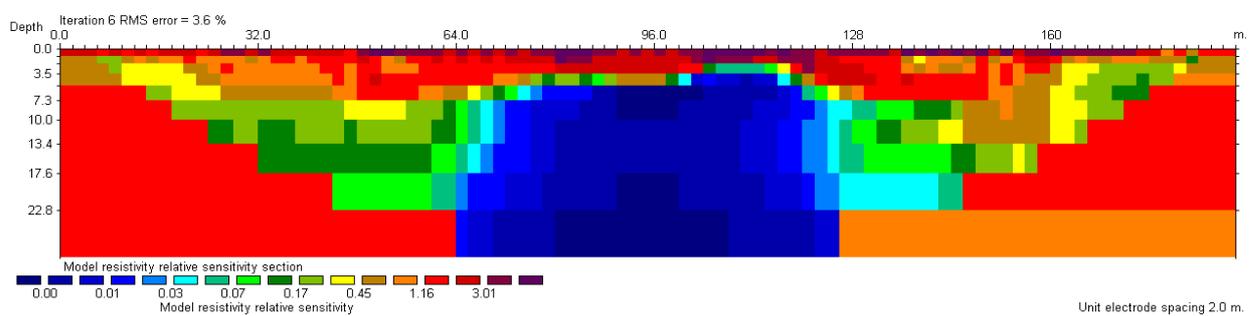
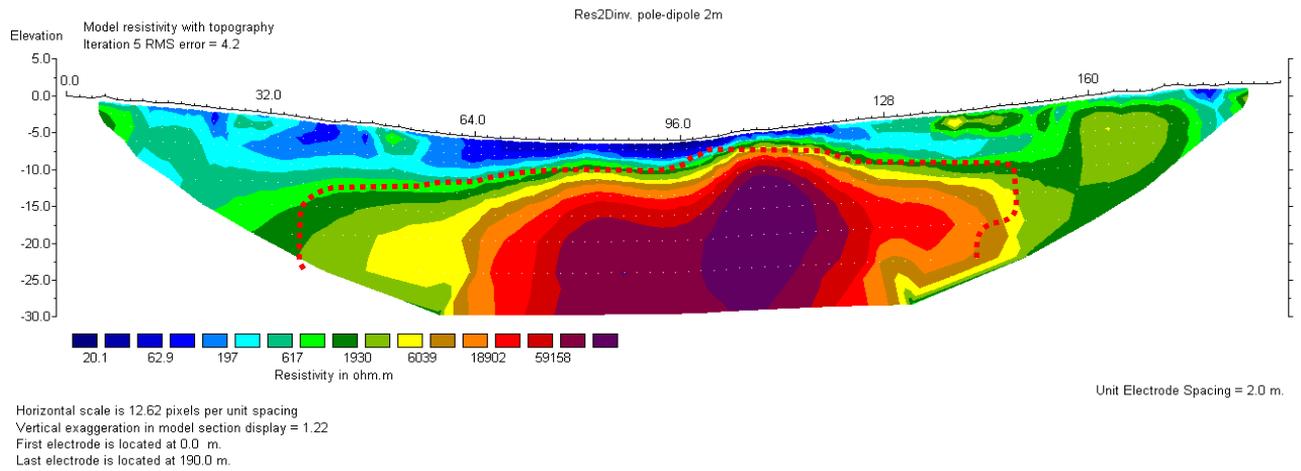
surface sur les premiers mètres, suivi d'un socle calcaire très résistant (certainement sain, limite rouge) qui est une conséquence non seulement de la géologie en place mais dont la valeur de résistivité interprétée est probablement exagérée par la conductivité très élevée en surface (effet numérique lié à l'inversion typiquement mis en évidence par la carte de sensibilité). En effet la couche conductrice agit un peu comme un écran, concentrant toute les lignes de courant. Du côté Nord (vers 55m) on observe une rupture verticale de faciès. Alors qu'à partir de 140 m environ, la zone résistante tend à remonter à la surface.

En sus du panneau pole-dipole où l'écartement entre électrode était de 2 m, un panneau de type Schlumberger (Figure 3) avec un écartement d'inter-électrode de 1 m a été mis en place pour avoir une meilleure résolution sur l'épaisseur du premier terrain conducteur. L'analyse du panneau interprété donne environ une épaisseur avoisinant les 3m.

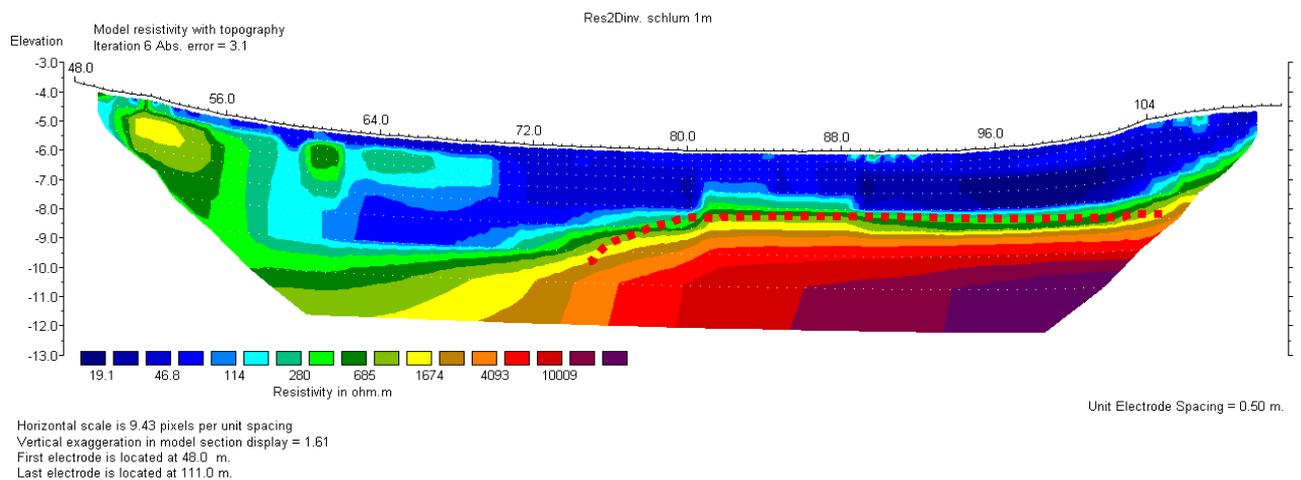
Sur l'ensemble de la dépression, le remplissage argileux semble jouer dans ce cas précis le rôle de bouchon. Sur la base des résultats obtenus sur ce profil, il semble donc possible de valider ou d'invalidier le caractère vulnérable ou protecteur d'une telle doline en multipliant des panneaux centrés sur la doline et orientés dans plusieurs directions. Cependant concernant l'infiltration latérale il est difficile de conclure sur des chemins préférentiels d'infiltration avec quelques panneaux, une couverture 3D à maillage fin et localisé est indispensable.



**Figure 1: Haut, plan de situation ; Bas, profils électriques (photo satellite). Profil rose pour le dispositif Schlumberger, et orange pour le dispositif pole-dipole.**



**Figure 2 : Haut, panneau électrique interprété (dispositif pole-dipole) de 190 m de long avec un écartement inter électrode de 2m. Bas, carte de sensibilité de l'inversion, avec un minimum au niveau de la zone très résistante.**



**Figure 3 : Panneau électrique interprété Schlumberger (écartement 1m, interpolé numériquement sur 50cm), centré sur la doline.**

## Plan d'eau dans une carrière désaffectée / caractérisation d'une combe<sup>4</sup>

### 1- Plan d'eau dans une carrière désaffectée

L'apparition d'un plan d'eau pérenne dans une carrière (calcaire) désaffectée est quelque peu surprenante étant donné la fonctionnalité du karst en place (Figure 4). Le plan d'eau a une emprise d'environ 1000 m<sup>2</sup> avec une profondeur maximale comprise entre 5 et 8m. L'idée étant d'évaluer le prolongement de la nappe autour du plan d'eau et d'établir éventuellement l'existence d'une nappe proprement dite ou bien uniquement du front humide du plan d'eau. Ce dernier ayant été créé accidentellement semble-t-il par le perçage d'un conduit karstique.

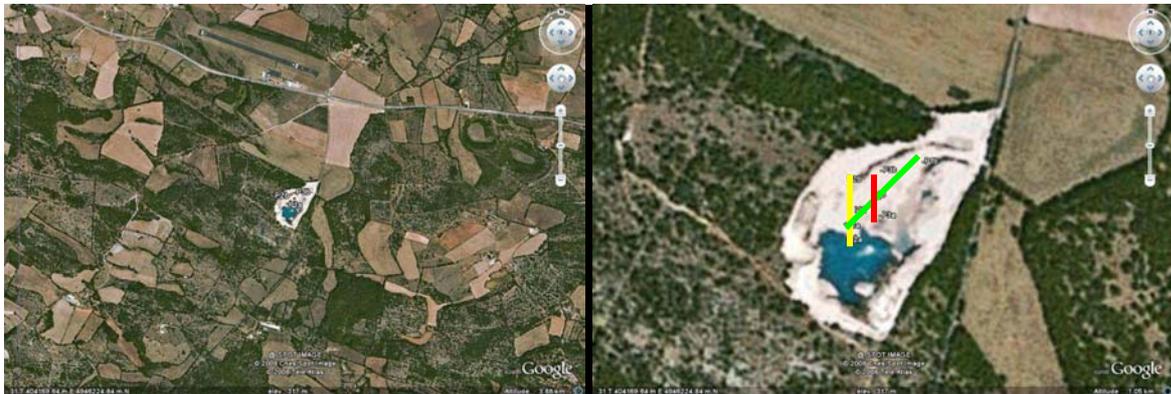


Figure 4 : plan de situation de la carrière et des profils radar.

Trois profils radars (Figure 5) ont été acquis (en rouge) pour 2 fréquences d'antennes (100MHz : P1 vert, P2 jaune, P3 rouge leur correspondant à 50 MHz : P4, P5, P6).

L'analyse des hyperboles de diffraction en moyenne donne une vitesse de propagation d'environ 8cm/ns mais parfois 6cm/ns soit une permittivité relative comprise entre 14 et 25, ce qui est élevé pour un calcaire fracturé de surcroît sauf en présence d'une forte teneur en eau. Ce qui laisse présager l'infiltration de la nappe sur l'ensemble du plan d'étude (dont la topographie est quasi horizontale). Les interfaces mises en évidence par un gain de type AGC (Automatic Gain Control), en rouge sur les radargrammes, permettent d'établir une stratigraphie marquée.

Certaines d'entre elles sont probablement issues de l'exploitation de la carrière étant donné leur géométrie (présence de cuvette sur P1 et P2). Les radargrammes ont tous été traités avec un gain AGC (Automatic Gain Control) afin de mettre en évidence les continuités éventuelles liées à la stratigraphie.

<sup>4</sup> Kavouri D., Plagnes V., Rejiba F, Tremoulet J., 2008, Evaluation cartographique de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie nord du Causse de Gramat (Lot) Stage Master 2 – Marne la Vallée.

La différence entre les sections à 100 MHz et 50 MHz est minime en termes d'informations globales (i.e. on constate les mêmes anomalies sur les 2 fréquences). Une meilleure résolution est observable avec les antennes à 100MHz. Les antennes à 50MHz ne permettent pas d'observer plus profondément (environ 7m de profondeur d'investigation maximales pour les 2 fréquences), ce qui est peut paraître surprenant, et probablement à de la diffraction dans le milieu fracturé. Le sondage TDEM (Time Domain Electromagnetic Method) non présenté dans ce rapport a été mesuré au niveau de l'intersection P1/P3 (ou P4/P6) mais ne permet pas de discriminer les 20 premiers mètres et ne montre à priori qu'un milieu homogène très résistant (~800 Ohm.m sur environ 40m d'épaisseur). Pas de sondage électrique envisageable étant donné l'état de surface. Par ailleurs, la présence de réflexions successives plus hautes fréquences que celles produites aux interfaces correspond à de la diffraction dans un milieu probablement saturé. C'est donc un indicateur des zones noyées, observées essentiellement près du plan d'eau (carrés bleues), mais pas seulement : il y a vraisemblablement un niveau piézométrique ou tout moins de nombreuses zones saturé sous toute la partie prospectée (caractérisée par la présence sur l'ensemble des profils radars, d'hyperboles plus hautes fréquences que la moyenne correspondant à une teneur en eau plus importante).

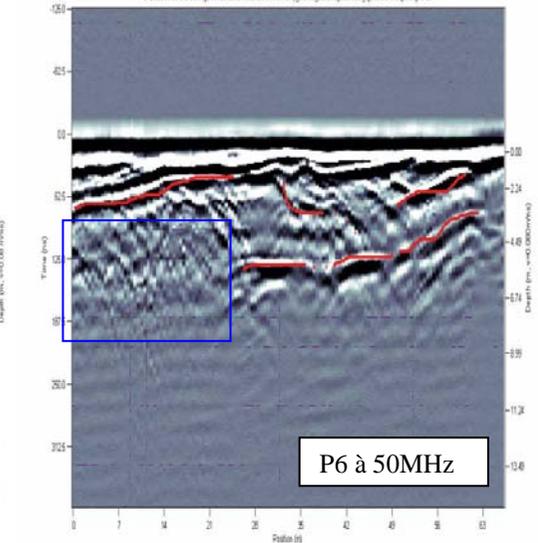
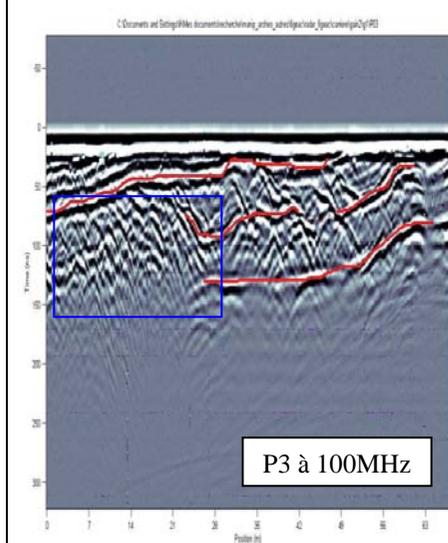
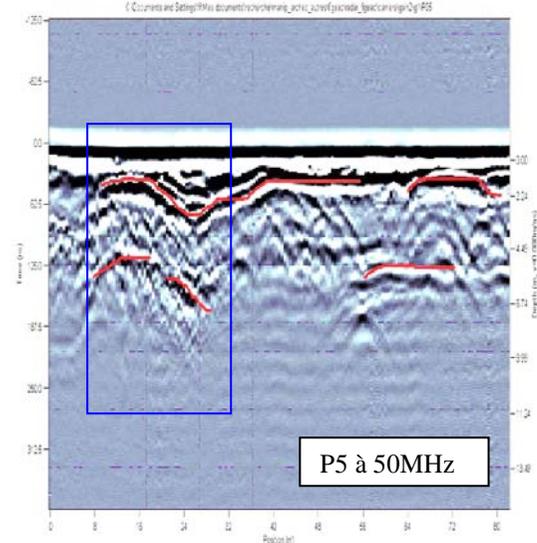
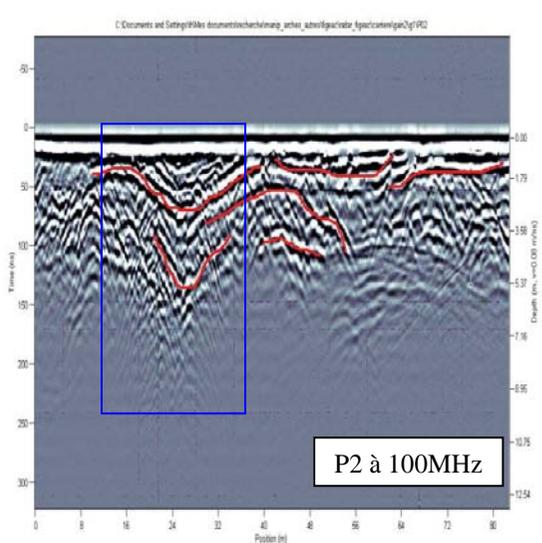
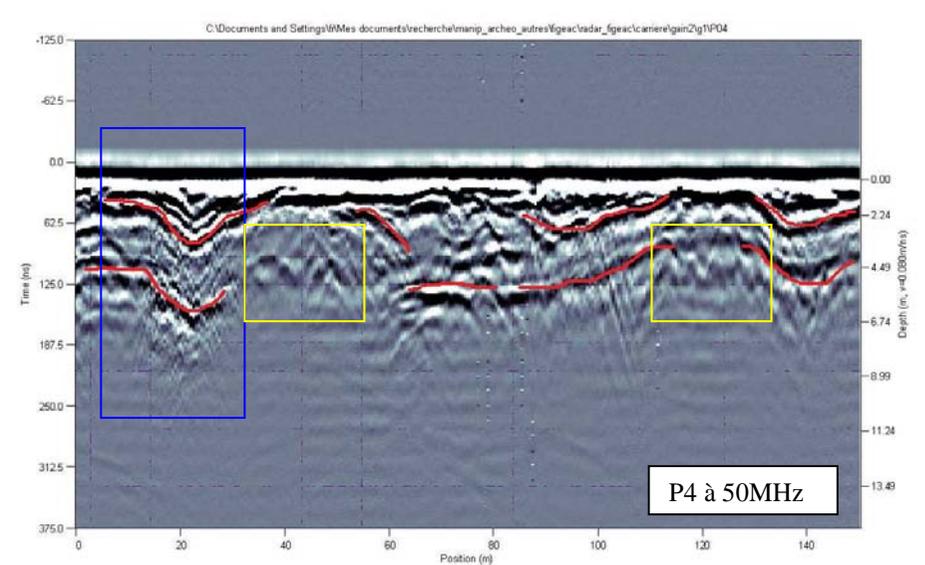
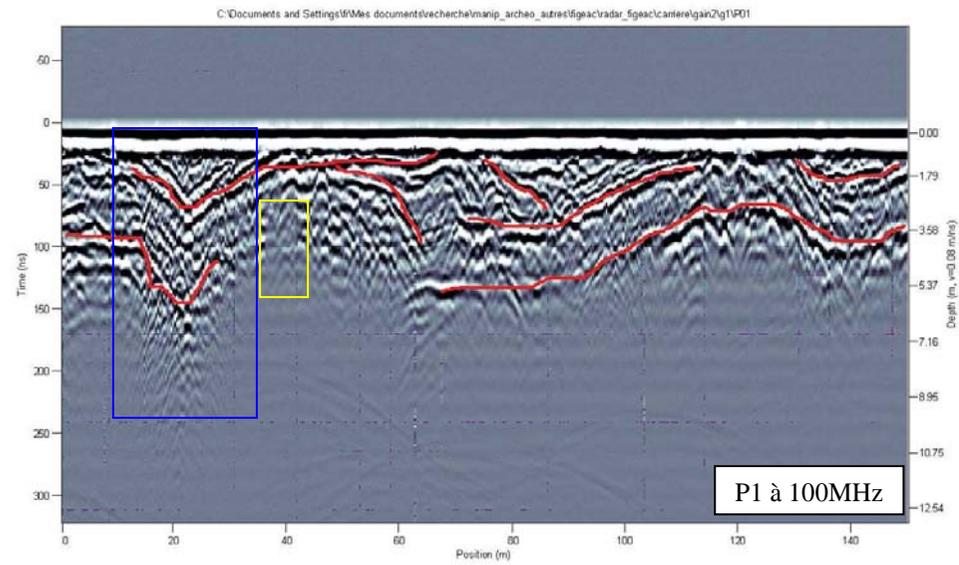
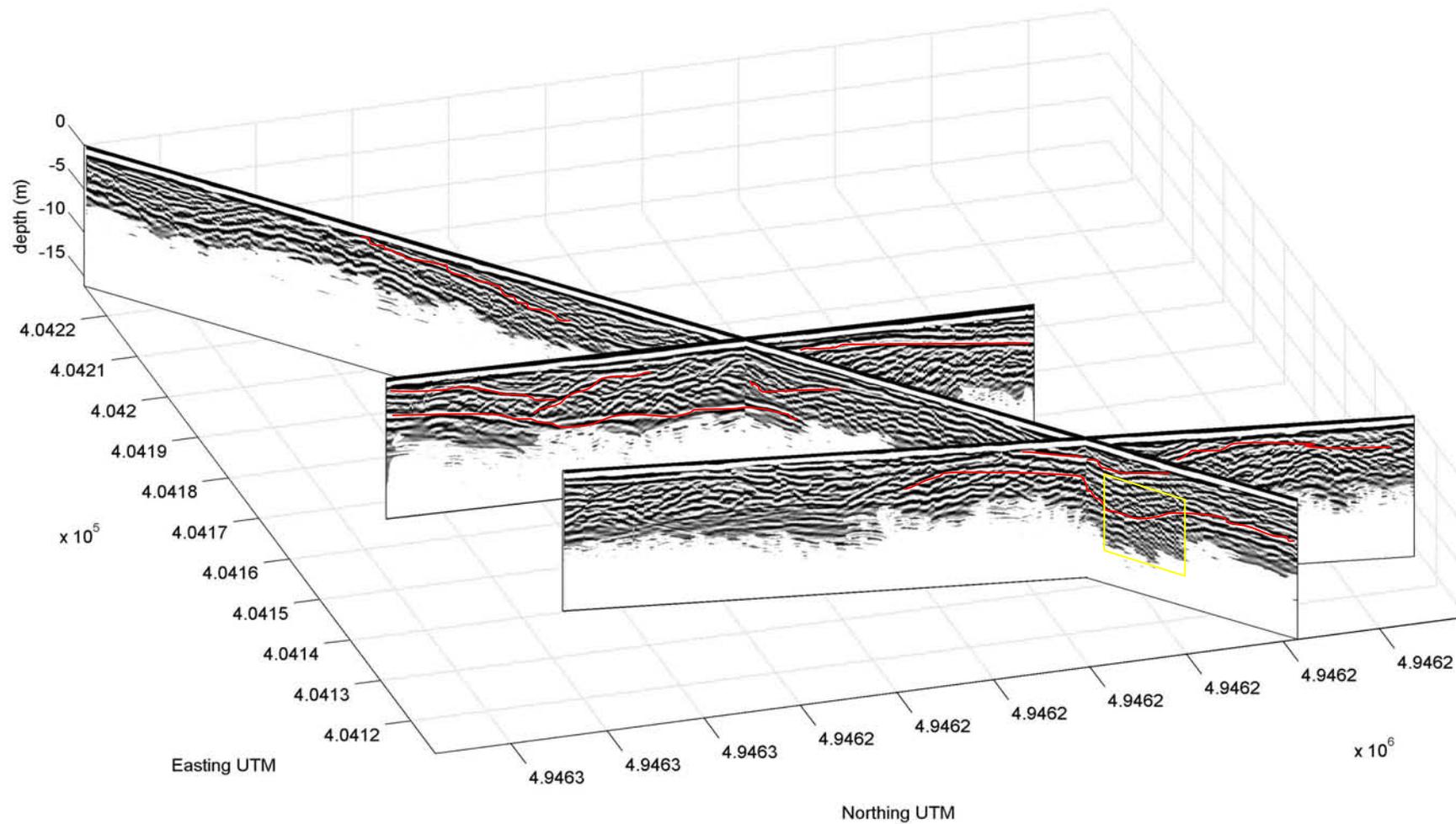


Figure 5 : profils radar aux abords de la carrière.

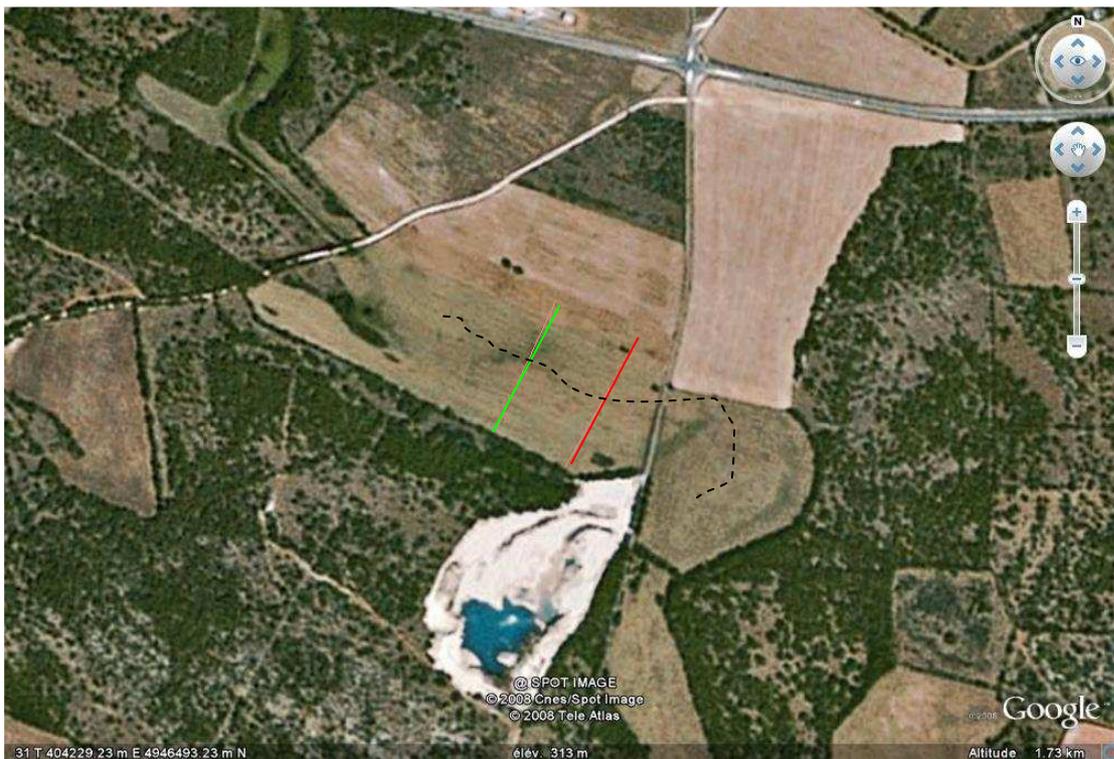


**Figure 6 : vue 3D des radargrammes à 100Mhz dans la carrière. Surlinéage rouge sur les principales interfaces mise en évidence, et zone de diffraction haute fréquence (zone saturée)**  
 Journées AFK/AGSO/CFH 11, 12, 13 et 14 septembre 2008 - Excursions en Quercy - Livret-Guide

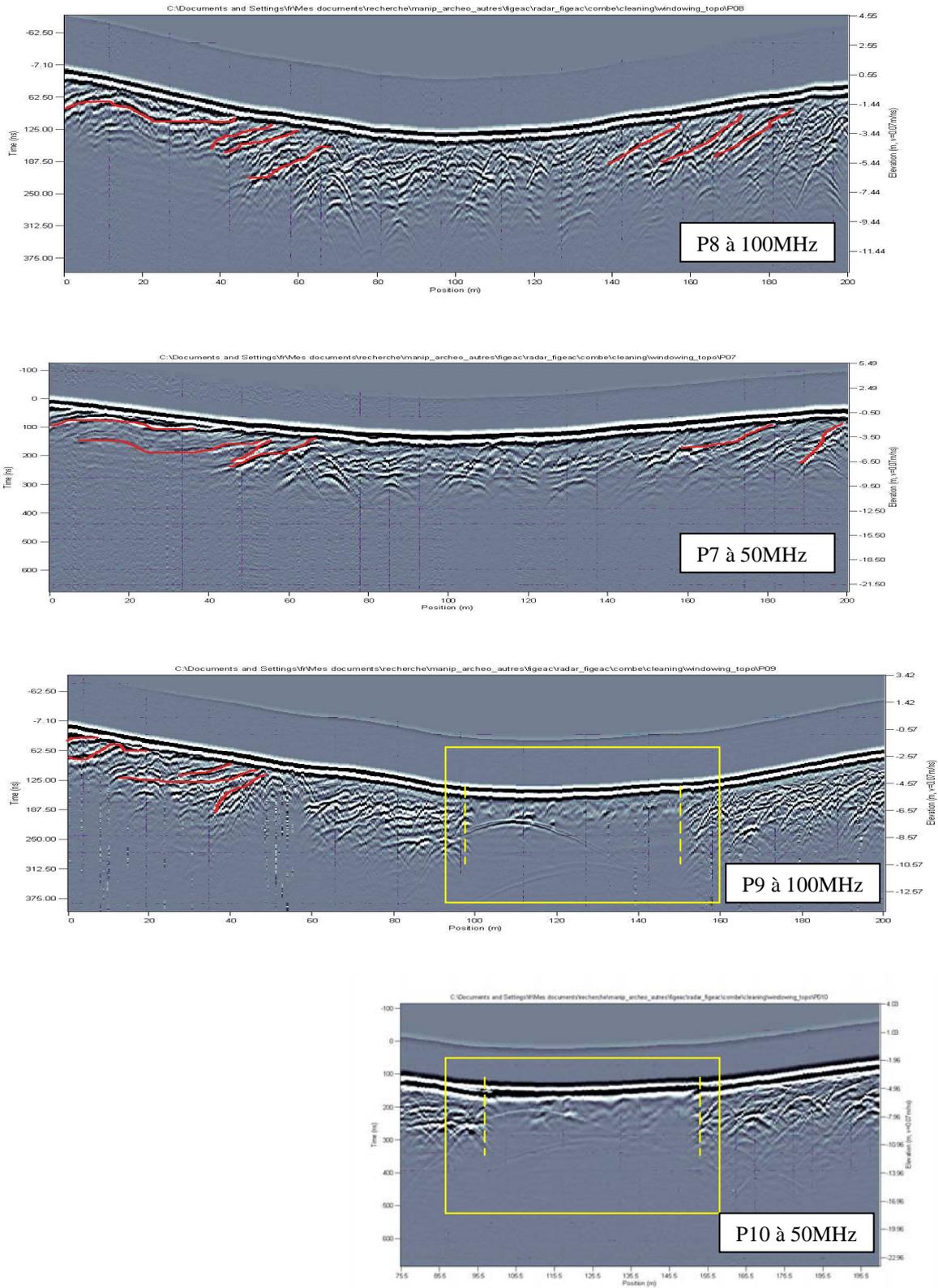
## 2- Caractérisation d'une combe

L'observation topographique de la zone avoisinante montre, à l'échelle pluri décamétrique, l'existence d'un paléo-chenal. L'objectif était d'évaluer les caractéristiques géométriques de ce chenal à l'aide d'une imagerie radar (radar géologique). Deux profils radar (Figure 8) ont été effectués (P7 en rouge à 50 MHz et P8 son correspondant à 100 MHz ; P9 en vert à 100 MHz et P10 son homologue à 50 MHz).

Indépendamment des principales informations stratigraphiques (Figure 8) apparaissant sur les profils en surlinéage rouge, on observe sur les profils P9, P10 les limites d'une zone où le signal radar est très atténué ; ceci correspond à un remplissage beaucoup plus conducteur (contenu en argile important) que le calcaire fracturé (carré jaune). Par ailleurs on constate que cette zone atténuante (d'environ 50m) est à limite subverticale (en l'absence de radargrammes supplémentaire, et surtout en l'absence de prolongement de cette anomalie sur les radargrammes P8 et P7, il est difficile de conclure).



**Figure 7 : plan de position au niveau de la combe, et profils radar (vert et rouge) et la ligne présumée portant la combe (ligne pointillée noire).**



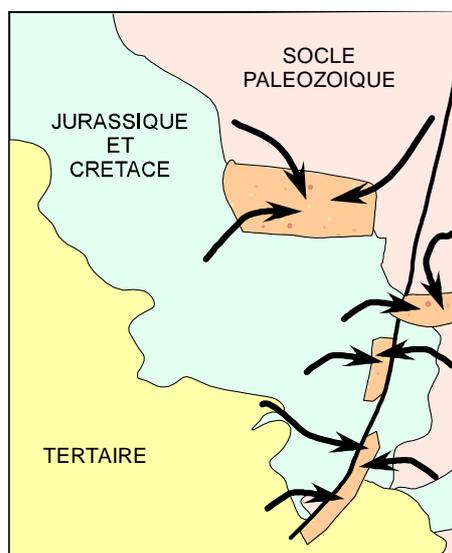
**Figure 8: profils radars sur la combe (le profil P10 correspondant au profil de P9 est incomplet pour cause de problème technique durant l'acquisition). Existence d'une zone conductrice (carré jaune), à limite subverticale (ligne pointillée jaune).**



# Essai de reconstitution du réseau hydrographique du Quercy du Cénozoïque au Quaternaire

Du **Paléocène à l'Eocène moyen** (ASTRUC J., G. et *al.*, 1995 et 2000), tous les drainages convergent vers des bassins endoréiques :

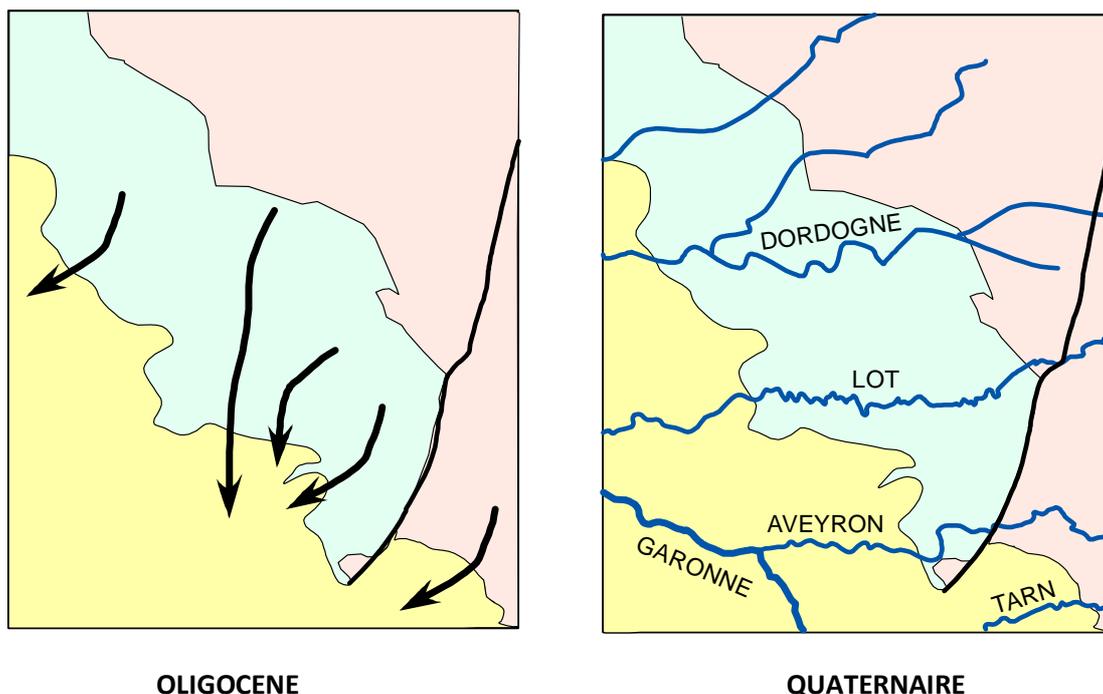
- Au nord, ils convergent vers le bassin de Martel entre les failles de Meyssac et de Padirac ;
- Vers le centre et au Sud, en direction des bassins alignés contre la faille de Villefranche. Ce sont les bassins de Maurs, d'Asprières et de Varen.



**EOCENE INFÉRIEUR**

A partir de **l'Eocène moyen** peut être du **Bartoniien**, l'orogénèse pyrénéenne engendre une série de plis de direction E-W, de faible amplitude, mais suffisant, allié à la subsidence du bassin d'Aquitaine, pour réorganiser l'orientation des drainages. La plus part des écoulements se dirigent en direction du S-W, vers le centre du bassin d'Aquitaine.

Un drains principal N-S, traverse le Quercy jurassique en direction du " Golfe de Cieurac ". De nombreuses émergences du karst des phosphorites doivent également rejoindre le même rivage. A l'ouest, d'autres drains sont répartis au nord de Fumel sur l'ensemble du Périgord Noir.



OLIGOCENE

QUATERNAIRE

A partir du **Burdigalien**, des cours d'eau, dirigée par la structuration acquise au Paléogène, s'organisent traversant le Quercy d'Est en Ouest, préfigurant le réseau hydrographique actuel. La première incision par le proto-réseau hydrographique, des formations jurassiques et paléogènes du NE du bassin Aquitain, a été traditionnellement attribuée au Plio-Villafranchien. Les découvertes récentes, de gisements paléontologiques<sup>1</sup> associés à des sédiments fluviatiles sur les causses du Quercy (SIGE B. et al, 1991), conduisent à vieillir le proto-réseau hydrographique, qui aurait commencé de s'installer dès le Burdigalien.

Au **Pliocène** et au **Quaternaire** (ASTRUC J., G. et *al.*, 2000), la subsidence graduelle du bassin observée depuis l'Eocène, fait place à un soulèvement qui sera à l'origine de la morphologie actuelle.

- L'érosion va dégager plus rapidement le nord du plateau quercynois où la couverture molassique est moins puissante.
- Les karstifications plio-quaternaires débutent donc au nord du Quercy et sont plus récentes au sud de cette région.

Ce dégagement plus tardif au Sud est à l'origine de la conservation exclusive du paléokarst à phosphorites dans le Quercy méridional (périphérie du causse de Limogne), plus longtemps préservé de l'érosion plio-quaternaire par sa couverture molassique. On peut aussi attribuer à ce phénomène l'évolution différenciée des principales vallées, de plus en plus tardive en allant vers le Sud, de la Dordogne au Lot et à l'Aveyron.

<sup>1</sup> Ces gisements sont en relation avec un couloir du bassin versant du Célé (au Nord du Lot), couloir dont la morphologie et l'altitude sont relativement proches de ceux du drainage Puylaroque-Réalville.

*Essai de reconstitution du réseau hydrographique du Quercy du Cénozoïque au Quaternaire*  
 Texte de Jean, Guy Astruc 2002, inédit.

ASTRUC J., G. et *al.* (1995) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Souillac (809). Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, environ 70 p.

ASTRUC J., G. et *al.* (2000) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Nègrepelisse (931). Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, environ 111 p.

CAVILLE A. (1974) – La région des phosphorites du Quercy. *Palaeovertebrata*, Table ronde sur les Phosphorites du Quercy vol.6, fasc. 1-2, pp 5-19. Montpellier, novembre 1974.

DUBREUILH J., CAPDEVILLE J.-P., FARJANEL G., KARNAY G., PLATEL J.-P., SIMON-COINÇON R. (1995) - Dynamique d'un comblement continental néogène et quaternaire : l'exemple du bassin d'Aquitaine. *B.R.G.M., Géologie de la France*, n°4, p.3-26.

RENAULT P., SIMON-COINÇON R. et ASTRUC J., G. (1992) - Problèmes des causes du Quercy. In *Karst et évolutions climatiques*. Ed. Presse Univ. Bordeaux, p. 469-496.

SIGÉ B., Aguilar J.-P. et MARANDAT B. (1991) - Extension au Miocène inférieur des remplissages phosphatés du Quercy, la faune de vertébrés de Crémat (Lot, France). *Géobios*, n° 24, fasc.4, p. 497-502.

---

*Essai de reconstitution du réseau hydrographique du Quercy du Cénozoïque au Quaternaire*  
Texte de Jean, Guy Astruc 2002, inédit.



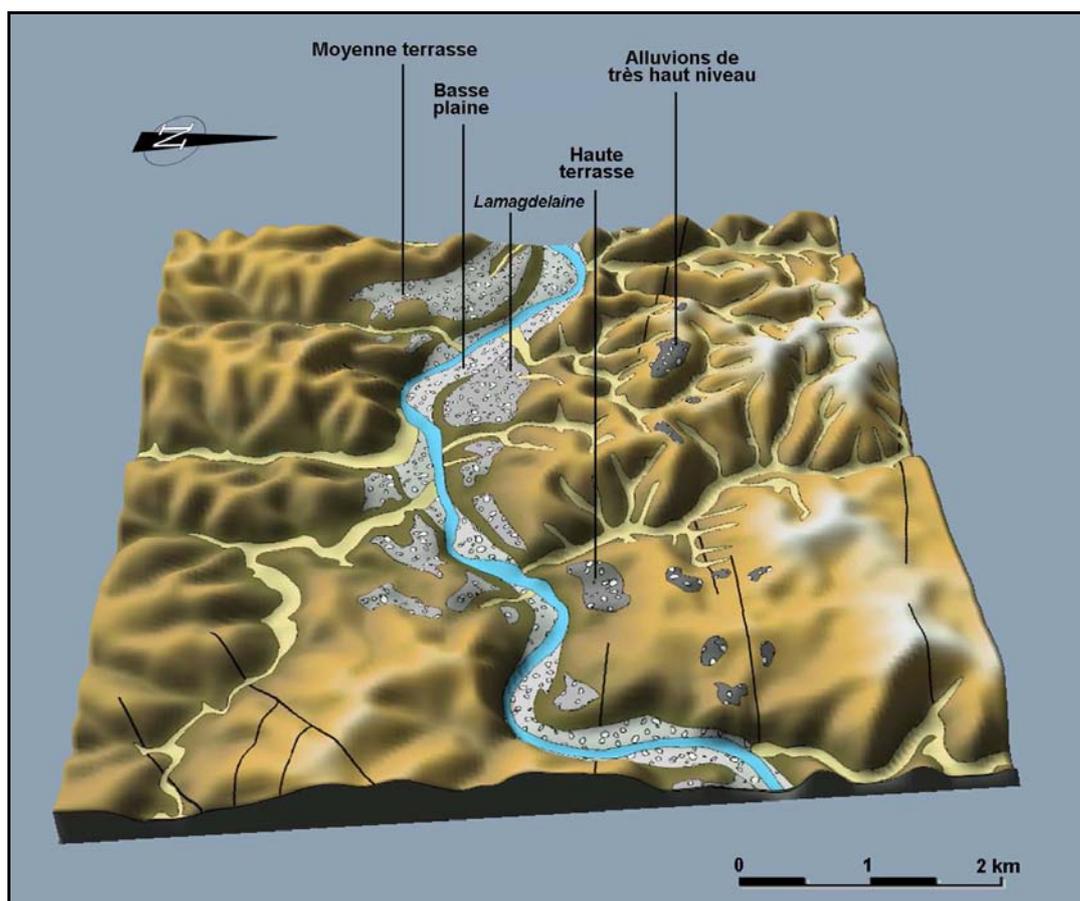
## Vallées et vallons caussenards : les témoins de l'encaissement progressif du réseau hydrographique sur le Causse de Gramat

Laurent Bruxelles<sup>1</sup> et Jean Guy Astruc<sup>2</sup>

1 - INRAP, ZAC des Champs Pinsons, 13 rue du Négoce 31650 St-Orens-de-Gameville et CRPPM/TRACES (UMR 5608 du CNRS). E-mail : [laurent.bruxelles@inrap.fr](mailto:laurent.bruxelles@inrap.fr).

2 - Géologue Régional Honoraire, BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize. E-mail : [jean.astruc@wanadoo.fr](mailto:jean.astruc@wanadoo.fr).

Ces formes, dues à la fois à une dynamique fluviale et à la dissolution du substrat calcaire, constituent des jalons majeurs dans l'histoire des paysages quercynois. Ainsi, les différents niveaux de terrasses alluviales matérialisent des stades de l'enfoncement du réseau hydrographique. Cette incision provoque un abaissement du niveau de base karstique pour les plateaux calcaires qui les bordent et commande directement l'évolution du karst. Les vallons caussenards, à sec de nos jours, sont pourtant les traces d'anciennes circulations d'eau à la surface des plateaux. Il est possible, en étudiant les relations entre ces morphologies, de connaître les modalités d'évolution de l'ensemble du réseau hydrographique. En comparant les formes fossiles et les formes encore fonctionnelles, il devient alors envisageable de situer dans le temps l'arrêt du fonctionnement des vallons caussenards.



**Figure 1** : Modèle numérique de terrain montrant l'étagement des différents paliers alluviaux dans la vallée du Lot, en amont de Cahors.

## I – Le rythme du creusement des vallées principales

L'encaissement du réseau hydrographique depuis la fin du Tertiaire a été relativement discontinu. Le moteur de cette incision est fourni par le gradient altitudinal et découle, dans ces secteurs, d'une surrection d'ensemble du Massif Central et de ses marges. Pendant ce soulèvement, la plateforme carbonatée a été affectée d'un basculement en direction du Bassin Aquitain. L'organisation du drainage de surface s'est donc mise en place en fonction d'une pente régionale en direction de l'ouest.

Le climat intervient également de manière prépondérante dans les modalités du creusement de ces vallées. Ainsi, en fonction des paramètres d'humidité et de température, ces vallées ont connu des phases de creusement entrecoupées par des périodes d'alluvionnement. Globalement, on peut associer les phases de creusement aux périodes interglaciaires, pendant lesquelles les versants sont protégés par le couvert végétal et les écoulements ont une énergie suffisante pour exporter les alluvions mais aussi pour creuser le substratum. Les périodes glaciaires sont plutôt caractérisées par des accumulations sédimentaires du fait de l'abondance de matériaux fournis par les versants peu protégés par la végétation. Les cours d'eau se sont alors exhausés sur leurs propres alluvions et les écoulements, divisés en plusieurs chenaux très mobiles, ont balayé toute la largeur de la vallée.

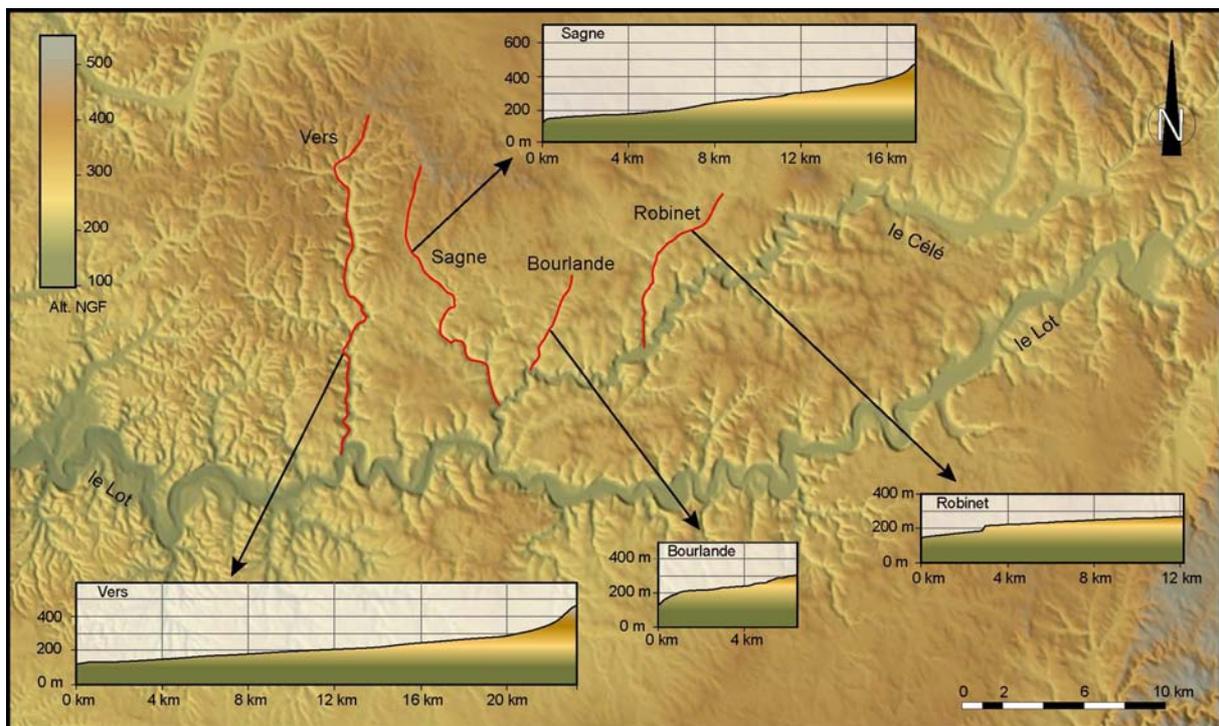
Nous n'avons pas encore cartographié l'ensemble des vallées du Quercy. Mais le Lot constitue à ce jour l'axe que nous connaissons le mieux. Nous baserons donc notre travail de description sur cette vallée. On y distingue cinq paliers alluviaux principaux, dont quatre sont représentés sur la figure 1 :

- le plus ancien correspond à des placages résiduels de graviers et de galets pris dans une matrice argileuse rubéfiée. Ils matérialisent un ancien couloir d'érosion qui préfigure l'organisation du réseau hydrographique actuel. On retrouve les anciennes alluvions à une altitude supérieure à 250 mètres NGF, soit plus de 150 mètres au-dessus du fond des vallées actuelles. Ce niveau pourrait être attribué au Pliocène (Astruc *et al.*, 1994) ;
- la haute terrasse est représentée par quelques épandages que l'on retrouve vers 220 mètres d'altitude, soit 80 à 100 mètres au-dessus du Lot et de la Dordogne. Ce sont essentiellement des graviers et des galets généralement quartzeux. La matrice est argileuse et les galets de gneiss présentent une altération assez importante. Ces niveaux pourraient dater du Pléistocène ancien ;
- la moyenne terrasse est bien mieux exprimée dans le paysage. Elle forme de vastes replats dominant le fond de la vallée de 25 à 30 mètres (autour de 150 mètres NGF). Elle est composée de galets, de graviers et de sable de roches variées dont certaines présentent une altération importante (gneiss, granites). La découverte et l'étude palynologique d'un niveau d'argiles organiques situé à la base de la terrasse permet de caler le début de sa mise en place au Pléistocène inférieur ou moyen (Turc, 1992) ;
- la basse terrasse ne se retrouve dans la vallée du Lot qu'en aval de Cahors. En amont, les divagations du cours d'eau dans son canyon pendant la phase d'incision suivante ont débarrassé tous les témoins de cette formation. Elle domine la basse plaine de quelques mètres, séparée de celle-ci par un talus peu marqué. Les sédiments sont peu altérés et on observe même la présence d'éléments calcaires. Sa mise en place date du Pléistocène supérieur ancien sur la foi d'arguments archéologiques (découverte d'industries lithique en stratigraphie) et paléontologiques (dent d'éléphant à Ste-Livrade ; Turc, 1992) ;

- la basse plaine occupe le fond des vallées. Elle peut être partiellement recouverte par les eaux en période de crue. La nappe alluviale est composée de galets, de sable et de limon. On y trouve des roches cristallophylliennes peu altérées ainsi que de nombreux fragments de calcaires. Elle est recouverte par une couverture limono-sableuse brune pouvant atteindre deux mètres d'épaisseur. Les restes paléontologiques trouvés dans la grave ainsi que la présence de deux sites magdaléniens à son sommet s'accordent pour situer la mise en place de cette formation au cours de la dernière phase froide du Quaternaire. Le lit mineur actuel du Lot est entaillé dans ce niveau alluvial.

## II – Le profil en long des vallons caussenards

Le creusement des vallons caussenards procède de deux paramètres principaux. Le premier concerne le niveau de base sur lequel ils calent leur profil. Ainsi, leur creusement s'opère en fonction de l'altitude du fond de la vallée à laquelle ils se raccordent. Le second paramètre est l'alimentation en eau. En effet, tant que le vallon est actif, il parvient à suivre l'enfoncement de la vallée principale par érosion et dissolution de son fond. L'ensemble de son profil sera régularisé au fur et à mesure par érosion régressive. En revanche, lorsque son alimentation en eau diminue fortement, devient intermittente voire disparaît complètement, le fond de ces vallons ne peut plus suivre l'incision des cours d'eau principaux. Il reste alors perché et son profil correspond au dernier stade de fonctionnement du vallon. Dans la partie aval, il se raccorde au fond de la vallée principale par une rupture de pente plus ou moins grande en fonction de l'ancienneté de sa fossilisation.



**Figure 2** : Profils de quelques vallons fluvio-karstiques affluents du Lot et du Célé.

La réalisation d'une vingtaine de profils de part et d'autre des vallées du Lot et du Célé a permis d'établir une typologie de ces vallons en fonction de leur fonctionnement hydrologique

actuel, de leur profil et de leur localisation dans la vallée. Ainsi, deux grands groupes ont pu être distingués (fig. 2) :

- les vallées encore actives de nos jours, comme la vallée du Vers ou celle de la Sagne. Elles ont un profil régulier et se raccordent progressivement au fond des vallées principales. Ces vallées secondaires ont donc toujours été alimentées en eau et elles ont pu suivre l'incision du Lot et du Célé ;
- plus en amont, de nombreux vallons, comme celui de Bourlande ou la vallée du Robinet, présentent une rupture de pente assez nette. Elle correspond souvent à une gorge de raccordement assez encaissée. En amont de la rupture de pente, le fond du vallon retrouve un profil régulier mais il est perché de 50 à 100 mètres au-dessus du niveau de base. Il est ponctuellement défoncé par le soutirage karstique.

A partir de ces profils, il est possible de reconstituer l'ancien prolongement de ces vallons en direction de l'aval, au-delà de la rupture de pente. On peut alors repérer à quel niveau de terrasse se raccordaient ces anciens cours d'eau, juste avant de devenir fossiles. Cette reconstitution géométrique permet de situer chronologiquement la période pendant laquelle ces vallons ont fonctionné. Ainsi, les vallons de Bourlandes, comme celui du Robinet, montrent un profil régulier qui se termine vers 220 mètres d'altitude. En prolongeant leur profil jusqu'à la vallée du Célé, on passe sous la cote des 200 mètres (180 mètres pour la vallée du Robinet). A cette altitude, on se raccorde dans la vallée du Célé entre la haute terrasse (220 mètres NGF) et la moyenne terrasse (150 mètres NGF). Il est ainsi possible de conclure que leur fonctionnement s'est interrompu au cours de la phase d'incision qui sépare ces deux terrasses, soit entre le Pléistocène inférieur et le Pléistocène moyen.

Les causes de la fossilisation de ces vallons peuvent être expliqués par le développement du soutirage karstique. L'abaissement du niveau de base se traduit au sein du massif par une verticalisation du karst. Ainsi, alors que le bassin versant des principales sources karstiques du fond des vallées gagne en extension, le soutirage des formations superficielles devient de plus en plus efficace. Dans la partie est du Causse de Gramat, les cours d'eau qui circulaient directement sur le calcaire sont donc progressivement absorbés par le karst. Les écoulements allochtones qui descendaient des contreforts du Massif Central ont pu parcourir de moins en moins de distance sur le Causse jusqu'à disparaître, comme c'est le cas aujourd'hui, dès leur arrivée au contact des calcaires jurassiques (pertes de Thémynes et de Théminettes, Saut de la Pucelle, gouffre du Réveillon...).

Un peu plus à l'ouest, les cours d'eau autochtones ont pu bénéficier de l'existence de couvertures d'altérites du Crétacé. Ces formations, dont on retrouve quelques lambeaux dans la partie médiane du ruisseau de la Sagne, au nord-est de la vallée de Vers, ont constitué un *impluvium* imperméable capable de préserver un bassin versant suffisant pour alimenter de manière plus ou moins permanente les circulations aériennes. Ainsi, la vallée de la Sagne a pu s'affranchir au moins en partie du soutirage karstique et a réussi à suivre l'incision de la vallée du Célé. Bien que les lambeaux d'altérites crétacées soient peu étendus de nos jours, on sait qu'ils couvraient des surfaces plus importantes au début du Pléistocène (cf. notice sur la couverture crétacée).

Encore plus à l'ouest, à partir de la vallée du Vers, les marno-calcaires du Kimméridgien affleurent de plus en plus largement. Ils forment un écran imperméable qui a protégé les écoulements de surface du soutirage karstique et qui a joué un rôle d'*impluvium* imperméable capable de concentrer les écoulements à la surface du causse. De fait, à l'ouest de la vallée du Vers, la plupart des talwegs ont un profil régulier qui se raccorde directement à la vallée du Lot. Quelques ruptures de pentes peuvent toutefois être observées mais elles s'expliquent plutôt par l'hétérogénéité de la série kimméridgienne.



de quartz et de concrétions ferrugineuses. Les plus gros éléments ne dépassent pas une dizaine de centimètres de diamètre ;

- le fond du vallon est empâté par une formation alluviale dont l'épaisseur nous est inconnue. Elle est constituée de galets, de graviers et de sable. Les plus gros éléments atteignent plusieurs décimètres de diamètre. Le cortège pétrographique est très varié et l'on trouve des quartzites, des quartz, des roches cristallophylliennes altérées, des grès ferrugineux, des chailles, des silex et des fragments calcaires. Le profil de ce vallon démarre à 320 mètres d'altitude à l'est d'Issendolus pour se terminer à 290 au niveau de Gramat. La pente est nettement plus importante que celle soulignée par les lambeaux de terrasses de la rive gauche.

Ce cours d'eau allochtone montre donc, comme c'est le cas des grandes vallées, une longue tradition d'écoulements venant du socle et qui ont transité à la surface du plateau. La différence essentielle est que les vallées principales ont poursuivi leur creusement sur plus d'une centaine de mètres alors que ces vallons s'inscrivent dans la surface du plateau de 30 à 40 mètres tout au plus. Manifestement, le soutirage karstique a eu raison de ces écoulements et a fossilisé ces vallées au cours de leur incision. En conséquence, leur bassin-versant amont, resté en position perché, a progressivement été capturé par la Dordogne et le Célé.

Il est donc intéressant d'essayer de préciser l'époque à laquelle a eu lieu cette fossilisation. Ainsi, si l'on essaie de corréliser les niveaux de terrasse avec celles décrites dans les vallées principales, on peut établir la succession suivante :

- les placages sommitaux correspondent aux formations attribuées au Pliocène et préfigurent la mise en place du réseau hydrographique. D'autres dépôts de ce type sont également décrits le long du canyon de l'Alzou (Astruc *et al.*, 1994) ;
- en contrebas, le niveau de terrasse peut être comparé aux hautes terrasses du Lot et de la Dordogne ;
- enfin, le fond du vallon matérialise un stade du creusement compris entre la haute et la moyenne terrasse. Ceci est en accord avec la reconstitution du profil de ces vallons dont le fond, comme nous l'avons vu plus haut, débouchait dans les vallées principales entre la haute et la moyenne terrasse.

Sur la base de ces observations, on peut donc conclure que ces vallons étaient fonctionnels pendant le Pléistocène inférieur et peut-être une partie du Pléistocène moyen. Ils ont été fossilisés par le développement du soutirage karstique certainement au cours de la phase de creusement des canyons, entre la haute et la moyenne terrasse. Bien entendu, cette fossilisation n'a pas été brutale et a dû s'opérer sur le long terme. En effet, les pertes se sont développées progressivement et il est vraisemblable que ces vallons étaient au moins en partie réutilisés en période de crue. Enfin, pendant la dernière phase froide du Quaternaire, le gel saisonnier du sol a pu autoriser le maintien d'écoulements temporaires en surface. Néanmoins, le défonçage karstique du fond de ces vallons était déjà largement effectif et il est peu vraisemblable que ces circulations aient pu parcourir une grande distance sur le causse.

## Conclusion

Les observations géomorphologiques, couplées aux données de la paléontologie et de l'archéologie, ont permis de définir un canevas de l'évolution quaternaire du réseau hydrographique.

Ainsi, il apparaît que pendant tout le Pléistocène inférieur, il y a eu des circulations d'eau sur ces plateaux. Au fur et à mesure de l'encaissement des canyons, les vallées secondaires se sont

alignées sur le niveau de base et ont formé plusieurs niveaux de terrasses. Mais, dès la fin de cette période, l'organisation du drainage karstique a permis le développement du soutirage et a réussi, progressivement, à fossiliser certaines de ces vallées. En amont, au niveau du Limargue, les principales rivières ont capturé le bassin versant des cours d'eau secondaires par érosion régressive le long des marnes liasiques. Il apparaît qu'à partir du Pléistocène moyen, ces cours d'eau ne fonctionnaient plus que de manière temporaire, essentiellement lors des crues.

Le Pléistocène moyen est donc plutôt marqué par l'évolution karstique du causse. La verticalisation du karst a désorganisé les anciens réseaux hydrographiques. Ceux-ci ont alors évolué en un chapelet de dolines indépendantes les unes des autres. En même temps, on assiste à l'érosion des principaux placages d'altérites crétacées ainsi qu'au recul des marnes kimméridgiennes. Seules les vallées secondaires localisées sur ces marnes ont pu s'affranchir du soutirage et accompagner jusqu'à aujourd'hui l'abaissement du niveau de base.

Pendant le Pléistocène moyen à récent, le réseau hydrographique a poursuivi son encaissement. Dans le causse, cette verticalisation du karst s'est traduite par le recouplement et la réutilisation de tronçons d'anciennes cavités tertiaires. Cette vidange a provoqué des réajustements mécaniques de la voûte des galeries qui ont pu ponctuellement s'effondrer et déboucher en surface.

## Bibliographie

ASTRUC J.-G., COUSTOU J.-C., CUBAYNES R., GALHARAGUE J., LORBLANCHET M., MARCOULY R., PELISSIE T. et REY J. – 1994. – Notice de la carte géologique de la France au 1/50000, feuille de Gramat, n°833, 69 p.

BRUXELLES L., ASTRUC J. G., SIMON-COINÇON R. et CISZAK R. – Sous presse. - Histoire des paysages et Préhistoire : l'apport de la connaissance géomorphologique du Quercy pour la compréhension de l'environnement paléolithique, *Paléo*, Actes du colloque de l'UISPP, Lisbonne 2006, 22 p.

TURQ A. – 1992. – *Le Paléolithique inférieur et moyen entre les vallées de la Dordogne et du Lot*. – Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 782 p.



# Approche de la vulnérabilité des aquifères karstiques par méthodes géophysiques : application au système karstique de la Doux d'Issepts.

Christophe SUBIAS

CALLIGEE SUD OUEST, Le prologue 2 – Labège Innopole, BP 2714 – 31312 LABEGE CEDEX  
[c.subias@calligee.fr](mailto:c.subias@calligee.fr)

## INTRODUCTION

On note actuellement une forte préoccupation en matière de protection des captages en alimentation en eau potable (AEP) notamment en pays quercynois où la ressource en eau captée est représentée majoritairement par des sources karstiques réputées vulnérables à toutes pollutions de surface.

Pour cela, des méthodes de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque (EPIK, RISK) en milieu karstique ont été développées et fournissent une aide précieuse dans le cadre de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP. Ces différentes approches supposent une bonne connaissance de la répartition spatiale des zones d'infiltration préférentielles et une vue globale sur la nature et le fonctionnement de la roche aquifère. Elles nécessitent aussi une connaissance précise de la densité et de l'organisation de la fracturation de la roche ainsi que l'épaisseur et la nature de la couverture protectrice (Valois, 2008).

Ces paramètres sont souvent difficiles à déterminer notamment dans le cadre de karsts dits sous couverture où la roche aquifère est recouverte de matériaux meubles qu'il s'agisse d'altérations récentes ou anciennes (placage argileux ou marneux) ou d'alluvions modernes ou anciennes. Il est donc nécessaire de tester et développer des méthodologies adaptées à ces contraintes et qui permettrait de « radiographier » l'état du sous-sol sans passer par des méthodes dites destructives (forage, carottages ou sondages à la pelle).

Les nombreuses méthodes géophysiques disponibles actuellement permettent des investigations précises et rapides du sous-sol et peuvent constituer des outils efficaces en hydrogéologie karstique (Al Farès et al., 2002, Rey, 2007, Biro, 2005, Guérin 2005). Les prospections géophysiques, qu'elles soient naturelles (gravimétrique, magnétiques...) ou provoquées (électriques, électromagnétiques, sismiques...) permettent une approche plus locale de la vulnérabilité en terrain calcaire. En effet, elles peuvent, dans certains cas, apporter une connaissance plus précise de la géométrie du réservoir (limites imperméables, axe de drainage...) et de la distribution spatiale de la perméabilité à travers les épaisseurs de recouvrement et la fracturation de la roche.

## CONTEXTE DE L'ETUDE

La source de la Doux d'Issepts (**photo 1**) est captée par le Syndicat AEP de Livernon regroupant 9 communes et alimentant près de 1750 abonnés avec près de 250 000 m<sup>3</sup> pompés par an.

La zone d'études s'inscrit dans la région du Limargue, bande étroite de terrains calcaires liasiques, séparant le causse de Gramat à l'Ouest du Ségala cristallophyllien à l'Est (**fig.1**). Ces terrains s'étendent entre les vallées de la Dordogne et du Lot. L'ensemble du secteur est drainé par le ruisseau d'Assier et le ruisseau du Francès qui se perdent au contact des calcaires Jurassique du causse de Gramat respectivement à Assier et à Théminette (voir **fig. 3**).

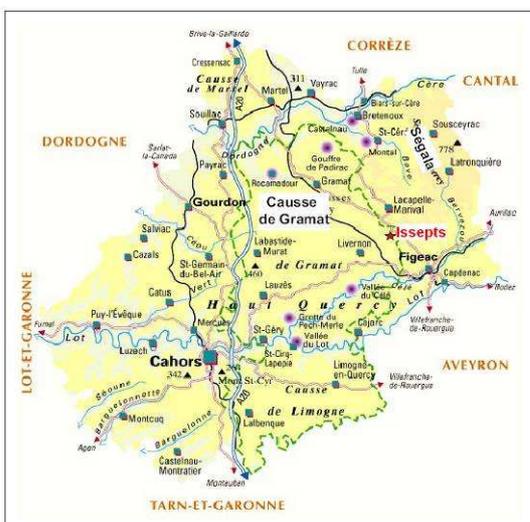


Fig. 1 : Localisation du captage d'Issepts

Photo 1 : Captage de la Doux



Les calcaires dolomitiques et les calcarénites de l'Hettangien supérieur et du Sinémurien forment un réservoir aquifère à porosité de fissure et de chenaux karstique (Astruc 2001). Celui-ci s'enfonce en direction de l'Ouest, sous le Lias moyen et supérieur argilo-marneux et devient captif. L'Hettangien basal (argile et grès) constitue le mur de l'aquifère.

L'alimentation du système se fait par les pluies efficaces s'infiltrant sur le Limargue et par des pertes ponctuelles ou diffuses (dolines, vallées sèches) jalonnant le plateau. Le drainage principal des eaux se fait au Nord vers la source de Biscot et au Sud vers la Doux d'Issepts qui nous intéresse plus particulièrement (voir **fig. 3**)

L'accident tectonique majeur est la faille de Flaujac - Le Bourg, de direction Est-Ouest. Cette faille provoque au Sud, la remontée des terrains imperméables de l'Hettangien inférieur les mettant directement en contact avec la série aquifère du Sinémurien et de l'Hettangien supérieur. Elle joue alors un rôle important dans l'organisation Nord-Sud des écoulements souterrain. En effet, au Nord de cet accident, les eaux souterraines vont être drainées vers l'Ouyse et par conséquent vers la Dordogne, tandis qu'au Sud, elles vont se diriger dans la Dournelle et donc vers le Lot.

La faille d'Assier qui sépare le Causse Sud, jouerait un rôle beaucoup plus ambigu sur la circulation des eaux souterraines. En effet, elle pourrait constituer une barrière hydraulique à la circulation des eaux souterraines et réduire considérablement la zone d'alimentation de la Doux.

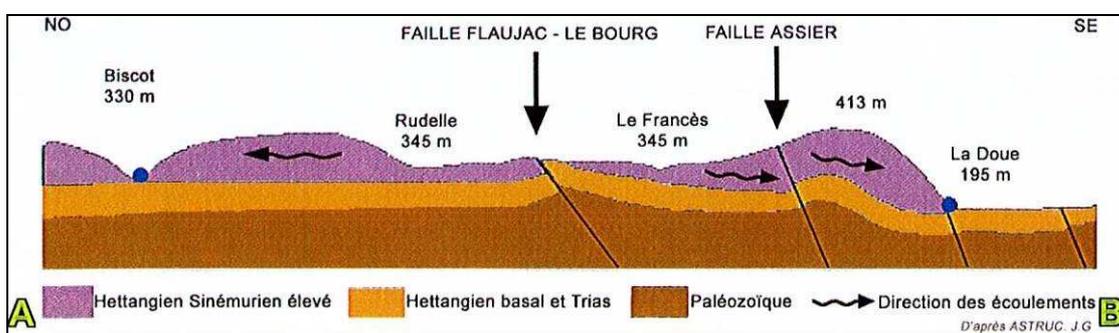


Fig. 2 : Coupe géologique NW – SE (d'après J.G Astruc, voir localisation en pointillé rouge fig. 3)

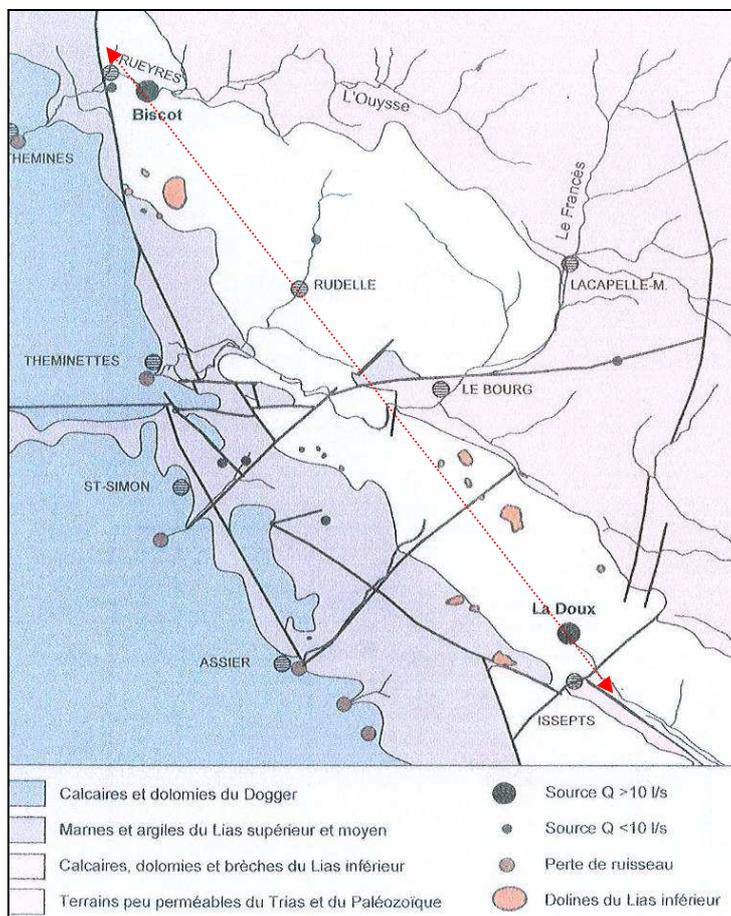


Fig. 3 : Contexte géologique global (d'après J.G Astruc)

## OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude était donc de proposer au Syndicat des méthodes simples et peu coûteuses permettant d'apprécier la vulnérabilité de l'aquifère sur un secteur qui s'étendait autour de la faille d'Assier, point essentiel et problématique de la zone.

La prospection géophysique s'est montrée tout à fait adaptée à cette problématique. En effet, les observations de terrain (géologique, géomorphologiques) faisaient énormément défauts et aucun suivi des débits ne permettait d'approcher le fonctionnement de l'aquifère karstique capté. De plus, les traçages effectués au Nord de la faille n'ont donné aucun résultat positif lié en grande partie aux recouvrements altéritiques marneux tapissant le fond des dolines ou des vallées sèches.

Les investigations géophysiques devaient donc répondre à plusieurs problèmes :

1. préciser la géométrie de l'aquifère
2. caractériser la zone épikarstique
3. définir les structures morphologiques superficielles (remplissages des dolines),
4. cartographier les zones d'infiltration préférentielles.

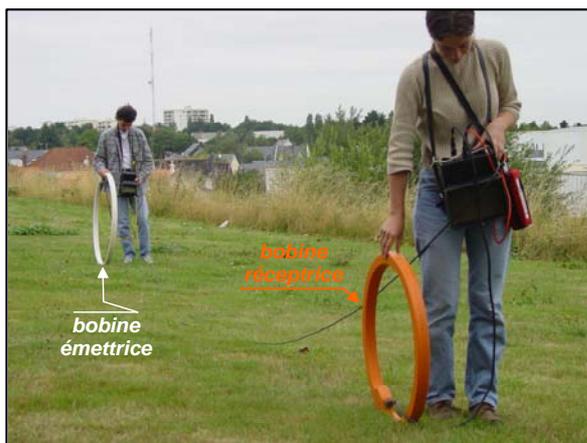
Ces résultats devaient donc orienter l'hydrogéologue agréé en charge de la délimitation des périmètres sur la nécessité d'étendre ou non sa zone de protection rapprochée, au-delà de la faille d'Assier.

## METHODOLOGIE APPLIQUEE

Deux méthodes ont été mises en œuvre : il s'agit de la **prospection électromagnétique EM34-3** et la **prospection électrique**.

La **méthode électrique** est basée sur la mesure en surface de l'intensité et de la différence de potentiel existant entre les différentes électrodes du dispositif (Rey, 2007, Valois 2008). Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité électrique apparente du sous-sol. Dans le cadre de la méthode dite du panneau électrique, la mesure de la résistivité se fait en différents points d'une flûte comptant jusqu'à 64 électrodes. Cette technique propose donc une exploration à la fois verticale et horizontale du sous-sol au cours d'un seul cycle d'acquisition de données, sans manipulation du dispositif.

Le principe de l'EM34-3 (Borne, 1990) est de créer par l'intermédiaire d'une bobine émettrice, un courant électrique oscillant produisant lui-même une onde électromagnétique qui induit dans le sol un champ électrique et magnétique secondaires (équations de Maxwell). Cette méthode dite à grand rendement peut être utilisée pour la prospection de grandes surfaces et permet de dresser rapidement des cartes de résistivités à plusieurs profondeurs, suivant la géométrie du dispositif et donc la position des bobines (voir photos suivantes).



Mesure EM34 : Equidistance 10 m, mode dipôle horizontal



Mesure EM34 : Equidistance 10 m, mode dipôle vertical

Photo 2 : Mise en œuvre du conductivimètre EM34

## PRINCIPAUX RESULTATS

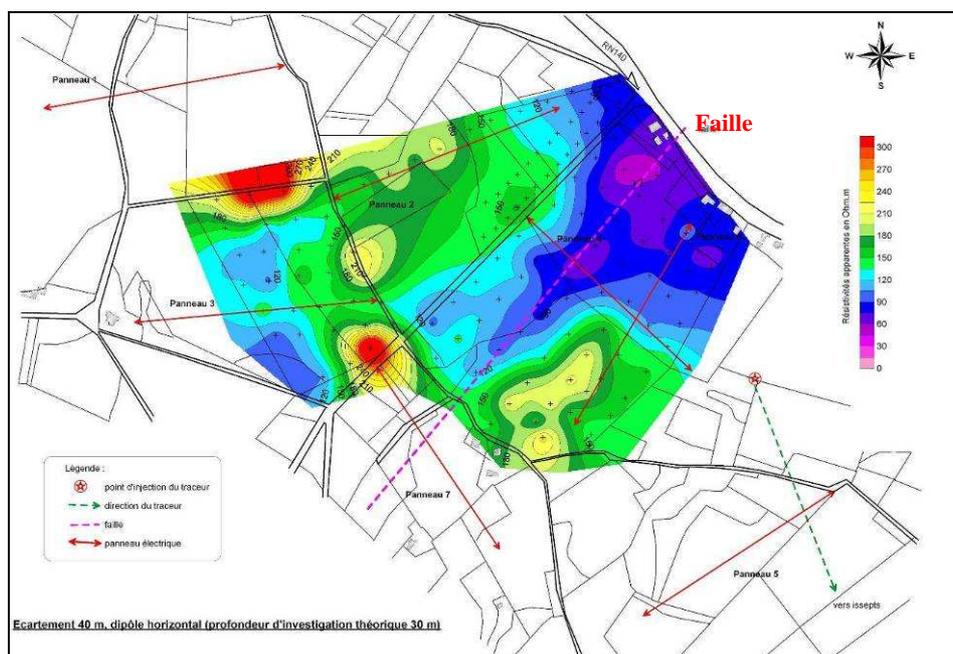
Les cartes EM34 présentées plus bas résultent d'interpolations mathématiques entre les profils qui ont permis de tracer les courbes d'isoresistivités. Le paramétrage des données d'interpolation doit être soigné pour s'affranchir de la disparité spatiale des mesures, inhérente à la maille utilisée. Les classes de résistivité et le dégradé de couleur correspondent, en rouge aux valeurs les plus résistantes et en rose aux valeurs les moins résistantes.

La cartographie a été effectuée par profils espacés de 40 m. Sur les deux premiers profils, les points de mesures sont espacés de 20 m. Sur les autres, les points sont séparés de 40 m les uns des autres. La prospection a totalisé 133 points de mesure.

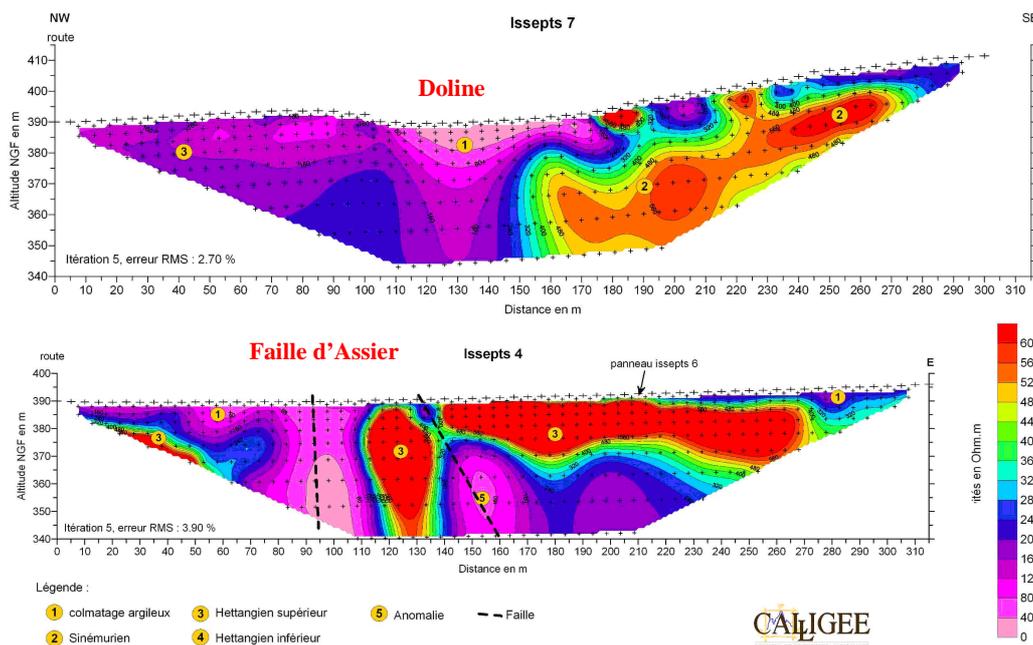
Les mesures sont ici réalisées avec 2 dispositifs permettant des profondeurs d'investigation théoriques croissantes :

- 40 m dipôle horizontal pour une profondeur d'investigation de 30 m,
- 40 m dipôle vertical pour une profondeur d'investigation de 60 m.

Le dispositif électrique utilisé est de type Wenner avec 64 électrodes équidistantes de 5 m soit une profondeur d'investigation théorique de 50 m environ. Les résultats sont présentés sur les **fig. 4 à 7**.



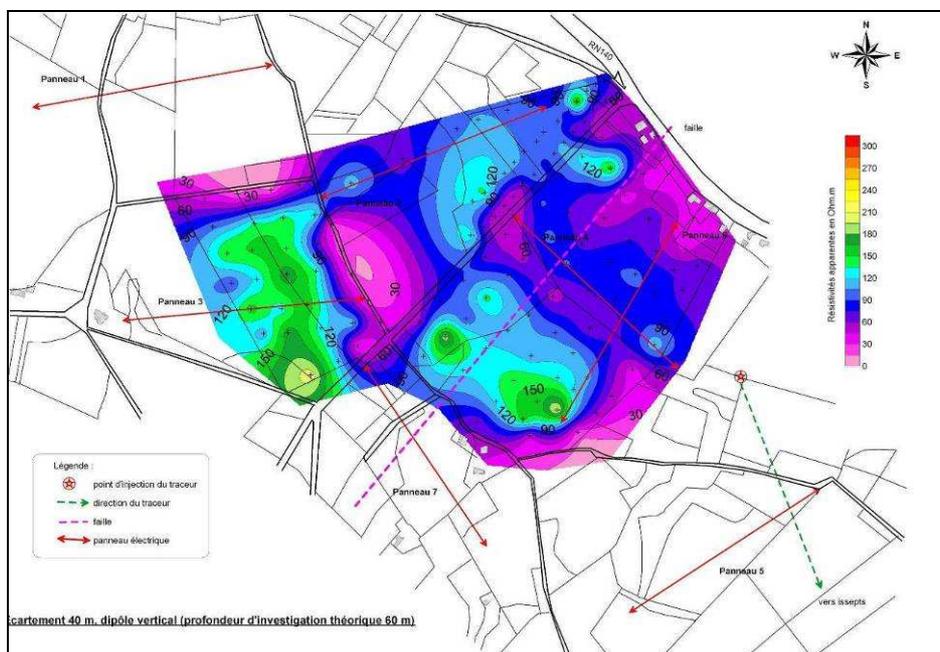
**Fig. 4: Cartographie par EM34, écartement des bobines 40 m, dipôle horizontal, profondeur d'investigation théorique : 30 m**



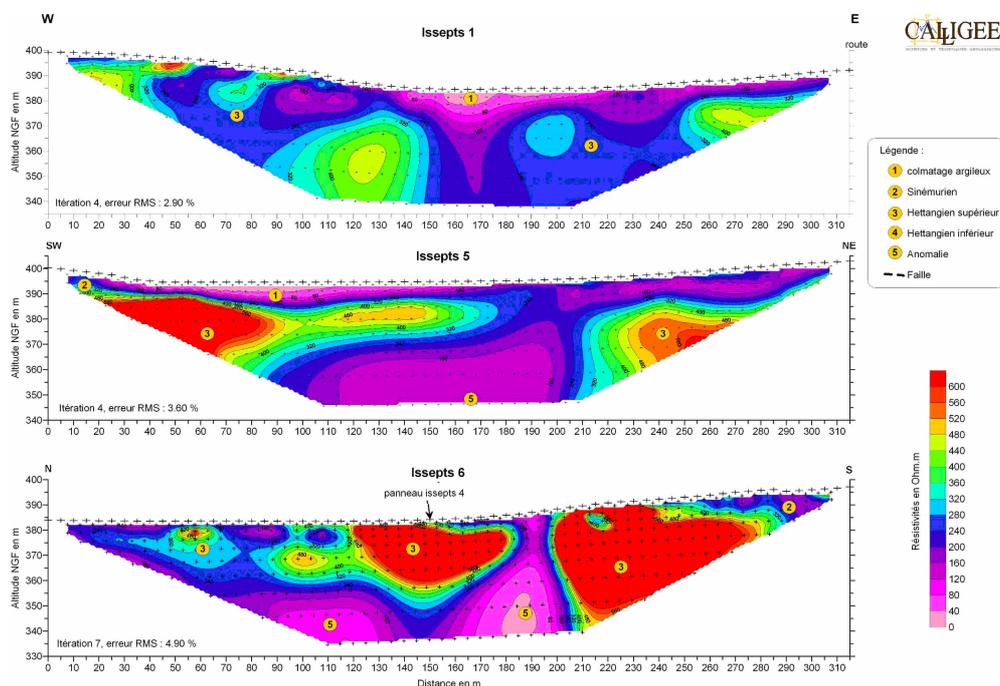
**Fig. 5 : Résultats des panneaux électriques 4 et 7**

La prospection EM34 permet de confirmer (**fig. 4**) :

- Un secteur à fortes résistivités (120 et 340  $\Omega.m$ ) caractérisant les calcaires Hettangien sub-affleurant. Les plus basses valeurs représentent d'une part les colmatages argileux de fond de doline (voir panneau 7) et d'autre part les calcarénites de transition entre le Sinémurien et l'Hettangien jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur.
- Une bande orientée NNE-SSW à faible résistivité (40 à 120  $\Omega.m$ ) matérialisant la faille d'Assier (confirmée par le panneau 4) et décalée par rapport à l'emplacement de la carte géologique d'environ 90 m au Sud et à l'Est de la route.



**Fig. 6 : Cartographie par EM34, écartement des bobines 40 m, dipôle vertical, profondeur d'investigation théorique : 60 m**



**Fig. 7 : Résultats des panneaux électriques 1, 5 et 6**

Les mesures enregistrées par le dispositif EM34 en mode vertical (**fig. 6**) sont fortement influencées par les terrains en profondeur. Les résistivités s'échelonnent dans une gamme moins large (15 à 210  $\Omega.m$ ).

Au premier regard on remarque que la plupart des môles résistants observés sur la carte précédente sont ici des ensembles globalement conducteurs. D'autre part la structure assimilée à la faille en bordure de route n'est pas présente. L'orientation des unités est grossièrement NW-SE rappelant la stratigraphie indiquée sur la carte géologique.

A l'extrémité Nord de la carte, les résistivités plus élevées caractérisent le bas de l'Hettangien inférieur (grès). En se dirigeant vers l'Est et le Sud, on passe aux argiles intermédiaires de la même formation (résistivités plus faibles).

Sur le reste de la moitié Est de la carte, les résistivités apparaissent légèrement plus élevées. Une mince bande conductrice de direction NW-SE apparaît dans ce secteur. Cette dernière structure a été assimilée à une structure drainante (drain karstique ou faille drainante) sur laquelle est d'ailleurs localisé le gouffre de Trézebens qui sert aussi de perte aux eaux de ruissellement.

Les valeurs plus résistantes au centre de la carte sont à rapprocher de l'Hettangien supérieur puisque sur cette zone il dépasse largement les 60 mètres d'épaisseur.

Les panneaux électriques (**fig. 7**) permettent aussi de distinguer la typologie des différentes dolines du secteur avec des structures très enracinées (panneau 1), influencée par le fort soutirage karstique et les dolines superficielles à fond plat, colmatées de placages marneux et argileux en totale déconnexion avec l'aquifère sous-jacent.

## CONCLUSION

La prospection géophysique a permis d'une part de préciser la géométrie de l'aquifère en positionnant les différentes unités géologiques et la faille d'Assier, principal accident tectonique du secteur. De plus, elle apporte des éléments indispensables quant à la vulnérabilité de la ressource en eau en caractérisant les principales zones de faiblesse de la zone non saturée (faille, doline absorbante, structure drainante...).

Ces reconnaissances associées à un inventaire des sources de pollution dans le bassin d'alimentation de la source ont permis à l'hydrogéologue agréé chargé d'établir les périmètres de protection d'orienter son avis sur des servitudes à mettre en place sur les zones fortement vulnérables identifiées.

## REFERENCES

1. **ASTRUC JG. (2004)** – Hydrogéologie du Limargue – Secteur Issepts – Rueyres – Observations de terrain et synthèse. 8 p.
2. **BIRO I. (2005)** – Cartographie de la vulnérabilité sur le site Vaulion (Canton de Vaud). Apport de la géophysique, validation par essais de traçages, centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel, Bulletin d'Hydrogéologie N°21, pp179-180 .
3. **BORNE V. (1990)** – La méthode électromagnétique EM34-3 pour la prospection de sub-surface – Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, n°42, 10 p.
4. **CALLIGEE (2008)** - Etudes préalables à l'établissement des périmètres de protection de la source captée de la Doux d'Issepts. Prospection géophysique complémentaire. Rapport d'études pour le SAEP du Livernon.
5. **CHALIKAKIS K. (2006)** – Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques. Thèse de Docteur en Hydrogéophysique, Université PARIS 6, UMR 7619 Sisyphe, 223 p.
6. **FAUCHARD C. (2003)** – Guide méthodologique sur les méthodes géophysiques de détection de cavités souterraines – Projet CRITERRE.
7. **GUERIN R. (2005)** – Contribution à l'hydrogéophysique – Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris 6. 262 p.
8. **PRANVILLE J. (2007)** – Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat – Rapport de MASTER 2 Sciences de l'Univers – UPMC – Paris 6, UMR Sisyphe.
9. **REY F. (2007)** - Ressources en eau souterraine dans les chaînons béarnais. Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés ». Thèse de Doctorat en Géologie Appliquée, Université de Bordeaux 1, p135-178
10. **VALOIS R. (2008)** – Hydrogéologie karstique – Etude du site de Poumeyssen. UPMC – P6 Campus Jussieu – UMR SISYPHE – 50 p.

## MOTS CLES

Vulnérabilité, géophysique, prospection électromagnétique EM34, panneau électrique, Issepts, Quercy, Lot,

# Etude hydrogéophysique du site de Poumeyssen

Rémi Valois et Roger Guérin (Université Pierre et Marie Curie - Paris 6)

Les approches actuellement proposées concernant la reconnaissance et la protection des aquifères karstiques ne font que rarement appel aux mesures géophysiques. L'approche hydrodynamique a permis d'établir des relations entre pertes et résurgences sur le système karstique de l'Ouisse. La chimie des principales résurgences a mis en évidence des fonctionnements différents (Cf. fig. n°1).

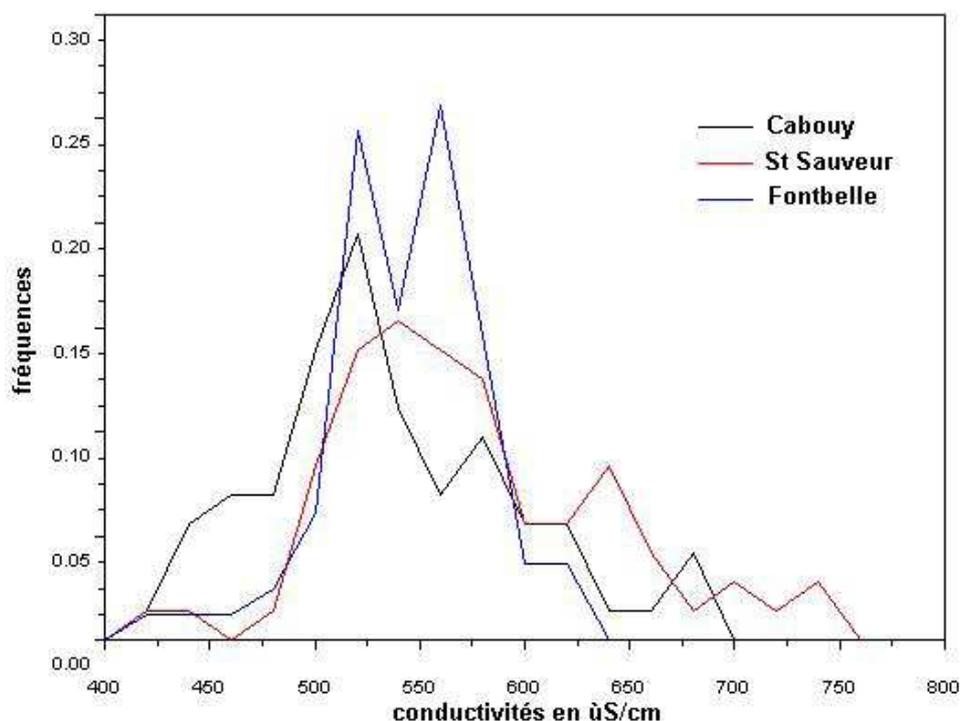


Figure 1 : Distribution des conductivités électriques aux résurgences de l'Ouisse

En effet, la distribution de conductivité électrique des eaux de Fontbelle est assez étroite comparée aux deux autres résurgences. Ceci montre que Fontbelle n'est pas affectée de la même manière par les eaux d'infiltrations rapides. Cependant, ces approches n'offrent pas la possibilité de localiser les structures karstiques souterraines.

Ce travail de recherche s'inscrit dans un cadre de développement d'un guide méthodologique de géophysique appliquée aux karsts. Les modélisations réalisées concernant la tomographie de résistivité électrique (ERT) ont montré qu'un conduit karstique noyé pouvait être détecté sous de bonnes conditions.

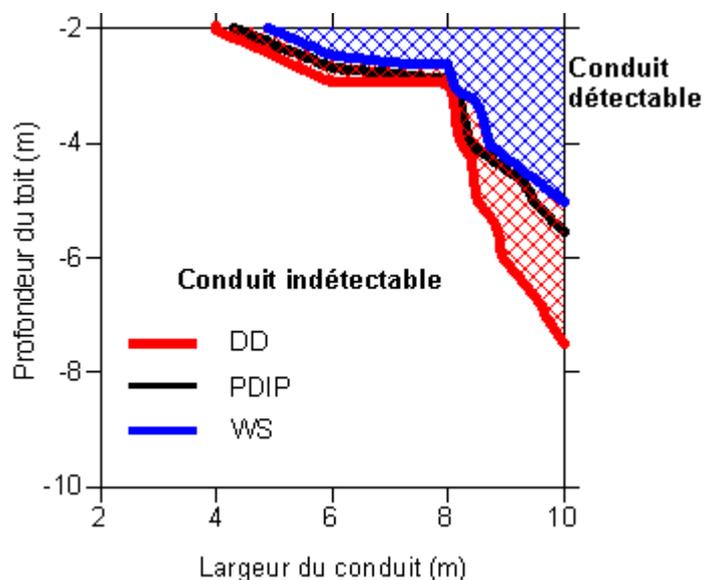


Figure 2 : Détectabilité d'un conduit en fonction de sa profondeur et de sa largeur

Tout d'abord, une couche de sol va fortement masquer la présence du conduit. Ensuite, il faut que sa largeur soit supérieure à sa profondeur pour avoir une chance d'identifier le conduit (Cf. fig. n°2). De plus, le dispositif dipôle-dipôle apparaît comme celui avec la meilleure capacité de détection.

Le site de Poumeyssen (Lot) a permis de tester particulièrement cette technique ainsi que le radar géologique, la sismique et la Résonance Magnétique des Protons (RMP). La RMP présente de très bons résultats car la section et la profondeur du conduit sont calculés avec une bonne estimation. La sismique montre une anomalie de vitesse juste au-dessus du conduit. Enfin, pour le radar et l'ERT, le conduit connu n'a pas été détecté mais une zone conductrice électriquement parlant aux alentours du conduit est interprétée avec confiance comme de l'eau dans des fractures (Cf. fig. n°3). Enfin, un cône de fracturation a clairement été identifié à l'aplomb de celui-ci, corroborant l'hypothèse géomorphologique de formation du conduit.

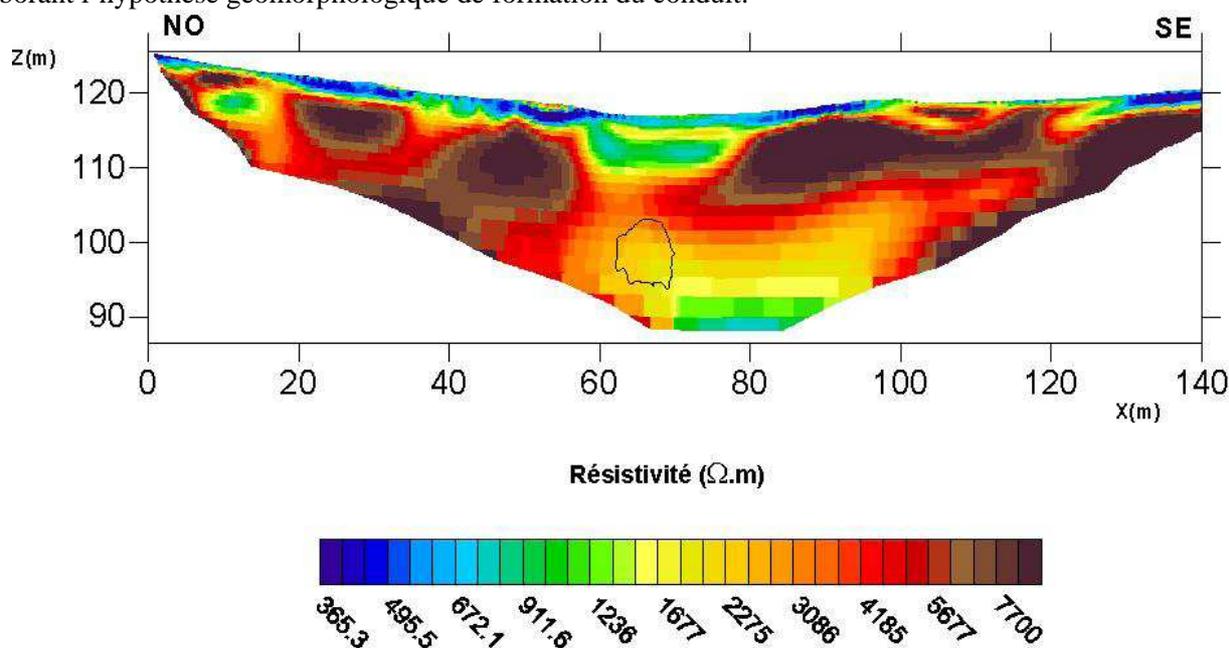


Figure 3 : Modèle de résistivité globale. RMS de 6.08%. Le conduit connu est en trait plein

Références bibliographiques de l'équipe sur le sujet :

- W. Al-Fares, M. Bakalowicz, R. Guérin, M. Dukhan, Analysis of the karst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar, *Journal of Applied Geophysics* 51 (2002), 97-106.
- M. Boucher, J.F. Girard, A. Legchenko, J.M. Baltassat, N. Dörfliger, K. Chalikakis, Using 2D inversion of magnetic resonance soundings to locate a water-filled karst conduit, *Journal of Hydrology* 330 (2006), 413-421.
- K. Chalikakis, Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 (2006), 217 p.
- R. Guérin, Y. Benderitter, Shallow karst exploration using MT-VLF and DC resistivity methods, *Geophysical Prospecting* 43 (1995), 635-653.
- R. Guérin, J.M. Baltassat, M. Boucher, K. Chalikakis, P.Y. Galibert, J.F. Girard, V. Plagnes, R. Valois, Geophysical characterisation of karstic networks - Application to the Ouyse system (Poumeyssen, France), *Comptes Rendus Geoscience* (soumis).
- J.M. Vouillamoz, A. Legchenko, Y. Albouy, M. Bakalowicz, J.M. Baltassat, W. Al-Fares, Localization of karst aquifer with magnetic resonance sounding and resistivity imagery, *Ground Water* 41 (2003), 578-586.

# DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES INEDITS D'EUGENE TRUTAT SUR L'EXPLOITATION DES PHOSPHORITES DU QUERCY

F. Duranthon <sup>(1)</sup> & F. Ripoll <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Muséum d'Histoire Naturelle et Laboratoire d'Etude et de Conservation du Patrimoine - 39 Allées Jules Guesde – 31 000 Toulouse. [francis.duranthon@cict.fr](mailto:francis.duranthon@cict.fr)

<sup>(2)</sup> Muséum d'Histoire Naturelle - 27 Rue Bernard Délicieux – 31200 Toulouse. [frederic.ripoll@mairie-toulouse.fr](mailto:frederic.ripoll@mairie-toulouse.fr)

**Résumé** - La découverte de clichés inédits d'Eugène Trutat (1840-1910), pionnier de la photographie, permet de préciser le mode d'exploitation des phosphorites du Quercy au XIX<sup>ème</sup> siècle. Le minerai y est exploité manuellement par de nombreux ouvriers et ouvrières. L'exploitation y est rationnelle, systématique et s'organise en paliers successifs. Les installations techniques nécessaires à l'exploitation du minerai sont mises en place au fur et à mesure des besoins.

**Abstract** - The discovery of unpublished photographs of Eugene Trutat (1840-1910), a photography pioneer, allows specifying the exploitation method of the phosphorites of the Quercy to the XIX<sup>ème</sup> century. The ore is manually exploited there by many workmen and women. The exploitation is rational, systematic and is organized on successive bearings. The technical installations necessary to the exploitation of the ore are put some places progressively needs.

**Mots-clés** - Trutat, Quercy, phosphorite, activité minière, XIX<sup>ème</sup> siècle

**Key-words** : Trutat, Quercy, phosphorite, mining activity, XIX<sup>th</sup> century

## INTRODUCTION

Les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse comprennent une importante photothèque, comportant environ 15 000 clichés photographiques sur plaque de verre, constituée principalement par Eugène Trutat entre 1860 et 1900. Au cours de la numérisation de ce fonds, nous avons eu la bonne fortune d'y découvrir une vingtaine de plaques représentant les phosphatières du Quercy du temps de leur exploitation. Ce sont ces documents qui font l'objet de ce travail.

## EUGENE TRUTAT

Personnalité singulière, Eugène Trutat (Fig. 1) naît le 25 août 1840 à Vernont (Eure) où son père Félix Trutat, officier d'artillerie, est alors en poste. Ce dernier est ensuite affecté à Toulouse où Eugène va poursuivre ses études secondaires, au Collège des Jésuites (Sainte Marie). Là, il prend goût à l'histoire naturelle, et ses professeurs l'orientent vers la médecine (Trutat, 1981). Il quitte Toulouse en 1856 pour faire ses études supérieures à Paris, à la Faculté de Médecine et au Muséum National d'Histoire Naturelle. Toutefois, même si sa famille bourgeoise a contracté des alliances avec l'aristocratie, ses moyens financiers sont limités et il doit se résoudre à regagner Toulouse en 1860, sans achever ses études de médecine. Il est alors engagé au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse, qui vient d'être créé par un groupe de scientifiques, dirigés par Edouard Filhol et Jean-Baptiste Noulet. Il en sera le premier des conservateurs en 1866, puis le directeur de 1890 à 1900. Là, Eugène Trutat fait preuve d'une grande curiosité intellectuelle, devient membre de nombreuses sociétés savantes. Il s'intéresse à de nombreux domaines d'étude au cœur desquels figurent la photographie et le pyrénéisme ; éclectique, il écrit par exemple un article sur « les Nourrices ariégeoises » (Trutat, 1902) ou donne un cours sur « les chanteurs toulousains » (Trutat, 1884).

Toutefois, il n'oublie pas ses activités naturalistes. Il inventorie les principaux blocs erratiques autour de Luchon avec Maurice Gourdon et s'attache particulièrement à l'étude des phénomènes glaciaires, s'intéresse aux phosphates du Quercy, publie différents articles de zoologie ou de botanique et soutient sa thèse sur le desman des Pyrénées à Dijon en 1871. Il s'intéresse en outre à la préhistoire, à l'archéologie, avec Emile Cartailhac et son ami le chanoine Pottier.

Mais Eugène Trutat est avant tout un voyageur, un découvreur qui s'intéresse à tout ce qui a trait aux Pyrénées : géologie, faune, flore, atmosphère, eaux minérales et thermales. Il écrit en 1892 :

« Les Alpes : ce sont les montagnes sereines, tristes parfois par leur grandeur ; elles représentent l'homme avec ses qualités, avec ses défauts. Les Pyrénées, toujours souriantes dans leur étincelante lumière du Midi, ce sont les montagnes charmantes, et leurs défauts passent inaperçus ; elles représentent la femme et toutes ses séductions, c'est donc à elles que je donne la palme et vous serez de mon avis »- (Muséum de Toulouse).

Dès 1863, à 23 ans, il réalise sa première ascension au pic d'Aneto (à l'époque le nom est francisé en Néthou). Il participe à de nombreuses expéditions dans les Pyrénées. Le 4 septembre 1873, il installe avec des amis une série de piquets en bois sur le glacier de la Maladetta, pour mesurer sa marche d'une année sur l'autre. Il ne peut pas y retourner en 1874 à cause du décès de sa mère, mais s'y rend de nouveau en 1875. Cette même année, il fonde avec le Professeur Charles Fabre la section Pyrénées Centrales du Club Alpin Français. Le 31 août, il organise une expédition scientifique dans les Monts Maudits, pour compléter la carte de M. Packe et étudier les glaciers. Il fait une nouvelle ascension de l'Aneto le 21 août 1878, avec Franz Schrader, Maurice Gourdon, deux guides (Barthélémy Courrège et Firmin Barrau), et deux porteurs.

Le directeur du Muséum favorise alors cette activité et accorde à plusieurs reprises à Eugène Trutat l'autorisation de faire des recherches dans les Pyrénées, comme en juin 1884 : « J'ai l'honneur de vous informer que conformément au désir exprimé dans votre lettre du 29 mai dernier, j'ai autorisé M. Trutat Conservateur du Musée d'histoire naturelle à accompagner le personnel forestier des départements pyrénéens, dans le but de rechercher les blocs erratiques dignes d'être conservés, a condition toutefois que son service n'aura pas à souffrir de ses déplacements. » (Archives Municipales de Toulouse a)

En 1856, lors de son séjour parisien, Eugène Trutat a découvert la photographie, par un militaire ami de son père. Amateur passionné, professionnel par la rigueur de son approche technique et par les publications qu'ont connues ses photographies, il se voue corps et âme à la photographie. Dès 1860, il réalise une série de clichés des frères Bisson sur le Mont Blanc et ses glaciers. Il reçoit un diplôme de l'Académie Impériale des Sciences Inscriptions et Belles Lettres de Toulouse le 15 juin 1862 pour ses photographies d'éclipse de soleil (Archives Municipales de Toulouse b). Il pressent longtemps à l'avance les possibilités de la photographie et prévoit les évolutions techniques qui devront survenir, notamment en ce qui concerne les applications scientifiques de la photographie. Il saisit l'importance des missions que la photographie pourra remplir : observer le vivant et l'infiniment petit sous toutes ses formes, le représenter, transmettre les découvertes ainsi acquises. Il épuise tous les genres photographiques :

- le Pyrénéisme dont il est l'inventeur avec quelques amis. Certaines de ses photographies sont celles du promeneur solitaire, contemplatif
- toutes les formes du paysage rural et du reportage social
- les portraits (paysans, ouvriers, bergers aragonais, guides pyrénéens...) dont quasiment aucun portrait de notable. Ils témoignent d'un profond humanisme.

L'appareil photo est pour lui un instrument au service de la science, et un outil exceptionnel de représentation de la réalité et de témoignage sur une époque : « Les applications de la Photographie sont devenues aujourd'hui si nombreuses, qu'il n'est pas de science, d'art ou d'industrie qui ne demande son appui. La rapidité d'exécution des images photographiques, leur exactitude absolue permettent souvent de fixer d'une façon nette et précise un fait fugitif, que l'œil a peine à saisir dans ses détails, que le dessinateur le plus habile ne pourrait représenter exactement. Cette authenticité des images photographiques est précisément la qualité première que réclament les observations scientifiques ; et elle est telle qu'elle ne peut être mise en doute : l'objectif ne peut se tromper. » (Trutat, 1892).

Ses photographies ont valeur d'illustration, puisque le paysage est abordé de manière systématique, et puisque la photographie sert d'illustration des domaines scientifiques.

Mais Trutat est également artiste, car son œuvre comporte une dimension créative. Il se distingue comme auteur et créateur de plusieurs façons :

- par la quantité de sa production photographique
- par la récurrence de thèmes obsessionnels, et de punctums très peu conventionnels, qui lui sont propres
- par la recherche du format idéal, adapté au mode créatif. Il s'agit du petit format 8 x 9. C'est celui dans lequel il réalise ses séries les plus achevées.
- par une manière très originale de cadrer certaines scènes, qui tranche avec l'académisme de l'époque. Philippe Terrance (Terrance, 2002) qualifie ces prises de vue de « cadrage cinématographique ».

Il sillonne le sud de la France, principalement le triangle Toulouse, Luchon, Foix. Passionné par la diffusion du savoir scientifique, il utilise ses photographies de voyage pour illustrer ses conférences, notamment sous forme de plaques de projection. Il projette ses propres plaques, les premières sont au collodion, montées dans un cadre et enserrées par deux verres, colorées à la main et à l'eau, vernies à la chaux à la gomme laque.

Fasciné par l'image animée, il fabrique un appareil inspiré de celui d'Albert Londe : il réunit plusieurs objectifs (de 9 à 12), sur une même chambre noire. La prise de vue donne de 9 à 12 épreuves permettant de décomposer un mouvement et de le recomposer à la projection. Il entretient des relations suivies avec les Frères Lumière qui lui confient à l'essai certains matériels, qu'il utilise pour la fête des fleurs de Luchon, ou à Biarritz pour filmer les baigneurs. Il filme aussi la sortie du cours de photographie de Toulouse. Il visite les ateliers lyonnais à une époque inconnue, et assiste deux fois à la sortie des usines. Il ne reste plus de traces des vues prises avec un opérateur Lumière.

Pour l'historienne Claudette Peyrusse : « Trutat aborde la photographie en physicien, en chimiste, en artiste et en militant. » (Peyrusse, 1999). De janvier à mars 1898, il donne des cours publics de photographies le dimanche matin au muséum, dans la salle de zoologie, à 10h30. Le cours est gratuit et sans inscription. La population du cours est composée à toutes les séances d'ouvriers et de patrons lithographes. Il s'agit de cours plus pratiques que théoriques, illustrés d'exemples : photographies, clichés obtenus grâce aux rayons X, appareil cinématographique et bandes Lumière, démonstration à la lanterne du développement et fixage des papiers négatifs, expériences de chimie. La leçon d'introduction porte sur l'histoire de la photographie. Trutat détaille ensuite le matériel de prise de vue, les objectifs, le développement des plaques, le choix des sujets, l'application à la photographie des règles artistiques de la composition picturale, le tirage des épreuves positives, l'utilisation de la photographie dans l'industrie. Dès la première séance, Trutat est doté d'un appareil envoyé gracieusement par les frères Lumière. Ce geste montre les relations anciennes et continues qu'ils entretiennent.

La passion d'Eugène Trutat pour la photographie est telle qu'il tend à négliger son poste de directeur du Muséum. Il multiplie les congés de longue durée (Archives Municipales de Toulouse c), notamment pour mener à bien ses travaux de recherche et de photographie dans les Pyrénées. A plusieurs reprises, l'administration se plaint de son manque d'assiduité, de ses absences répétées au Muséum. Ce qui sauve son poste est l'intérêt que présente son travail photographique pour le muséum.

Le Docteur Moreau, socialiste, le souligne le 30 décembre 1896 lors du Conseil Municipal de Toulouse : « Le directeur du Musée d'Histoire Naturelle passe son temps à faire de la photographie et laisse tout le travail à son aide naturaliste. Dans ces conditions, on pourrait supprimer le poste de directeur, puisqu'il est inutile. » (Mendieta, 2004).

Un autre conseiller, Destrem, prend quant à lui sa défense (Peyrusse, 1999): « Quant à la photographie, le résultat de son travail est d'un grand intérêt. Il a environ 2000 épreuves ; tous les ans, il fait 300 clichés qui servent à nos instituteurs, pour les projections, dans leurs conférences populaires. Avec M. Jaurès, j'ai eu l'occasion de m'occuper de cette question. La conclusion a été que pour tous les élèves de nos écoles, les photographies sont d'un grand intérêt ».

M. Bedouce, le maire de l'époque, dit de même (Peyrusse, 1999): « Monsieur Trutat est un savant qui rend de réels services qui sont très appréciés. De plus, il a une autre qualité, celle d'étudier tout ce qui touche à la photographie [...] Je voudrais que la commission s'entende avec lui, pour la création d'un cours professionnel qu'il ferait, sans dépense supplémentaire pour la ville. Il pourrait faire un cours de photographie et de photogravure. ». On l'a vu, le cours est effectivement mis en place de janvier à mars 1898.

Ce comportement exclusif envers la photographie, cette maîtresse tyrannique comme la qualifie E. Cartailhac (Cartailhac, 1911), est décrit par G. Astre (Astre, 1950) : « [...] Trutat, qui avait toujours été un pionnier de la photographie, finit par ne s'intéresser qu'à elle [...] Mais la municipalité lui reprocha d'avoir détourné des crédits de leur destination vraie ; si la photographie peut être un auxiliaire de la science, elle n'est sous ce rapport qu'un moyen, elle ne peut constituer un but ».

Face à ces difficultés, Eugène Trutat prend sa retraite en 1900, et s'installe à Foix, où il est entouré de ses deux fils. Il se consacre à ses conférences et ses publications. Un accident survenu à Paris (il s'est fracturé le col du fémur en tombant de la plate forme d'un tramway en marche, alors qu'il voulait faire place à une dame (Trutat, 1981)) l'empêche en effet de poursuivre ses excursions en montagne. Ses possibilités physiques sont dès lors très limitées. Il meurt le 6 août 1910, Chevalier de la Légion d'Honneur et des Palmes Académiques.

Pionnier de la photographie, Eugène Trutat est considéré comme l'un des piliers de la vulgarisation pyrénéiste, et l'un des fondateurs de la glaciologie moderne.

## **2. EUGENE TRUTAT ET LES PHOSPHORITES DU QUERCY**

Plusieurs raisons ont certainement contribué à l'intérêt qu'Eugène Trutat a manifesté pour les phosphorites du Quercy. Il y a au départ des raisons personnelles. En effet, en 1864, Eugène Trutat épouse Caroline Cambe dans la propriété de son grand-père, au château de Cornusson, près de Caylus (Tarn-et-Garonne). Caroline est née à Saint Antonin, village où elle séjourne fréquemment avec les deux enfants du couple et où Eugène vient la rejoindre de temps à autre. Naturaliste averti, membre fondateur de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, il ne peut qu'être attiré par les phosphatières lors de ses visites familiales au cœur de la zone des phosphorites, d'autant plus que la fièvre du phosphate s'est emparée de la population du Quercy et en assure la prospérité depuis sa découverte en 1865 par Jean André Poumarède (Pulou, 1980).

Par le poste qu'il occupe au Muséum de Toulouse, Trutat a également des raisons professionnelles. Il ne peut ignorer les abondantes récoltes paléontologiques engendrées par l'exploitation des phosphorites. Il est en effet très proche d'Edouard Filhol, alors Directeur du Muséum toulousain et a sensiblement le même âge que son fils, Henri, qui s'attache à en décrire les fossiles (Filhol, 1877).

Il consacre d'ailleurs deux publications aux phosphatières (Trutat, 1872a,b) où il est le premier à reconnaître l'âge éocène de certains fossiles.

## **3. LES PHOTOGRAPHIES**

Vingt plaques photographiques de la collection Trutat sont consacrées aux phosphatières et 9 sont ici reproduites (Fig. 2 à 8). Trois formats différents ont été employés : 15 plaques (dont 2 clichés stéréoscopiques), sont au format 13x18 cm, 4 au format 18x24 cm et une au format 12x20 cm. Les images sont réalisées suivant deux procédés photographiques : plaques au collodion humide (14 clichés) et plaques au gélatino-bromure d'argent (6 clichés) dont l'une comporte le nom d'émulsion Garcin.

Trois plaques montrent les formes d'érosion karstique d'une phosphatière indéterminée de la région de Caylus, deux sont consacrés au même thème dans la région de Saint-Antonin, un, toujours sur le même thème comporte seulement « Quercy » comme mention de provenance et 14 montrent différents aspects de la phosphatière de Raynal.

Trois photographies ont été effectuées de manière à pouvoir reconstituer une vue panoramique de l'exploitation de la phosphatière de Raynal (Fig. 8).

Grâce aux procédés photographiques et à l'analyse de la liste des publications de Trutat, il est possible de définir une fourchette de datation pour ces photographies. Les articles de Trutat sur les phosphorites datent de 1872. A cette époque, le procédé photographique en usage est le collodion humide. La technique consiste à couler une émulsion de collodion (liquide sirupeux obtenu par la dissolution de coton poudre (un explosif puissant obtenu par l'action de l'acide azotique sur le coton) dans une solution d'alcool et d'éther) sur une plaque de verre sensibilisée dans un bain d'argent. La plaque devait être exposée puis développée encore humide, immédiatement après la prise de vue dans de l'acide gallique ou du sulfate de fer ammoniacal, puis fixée au cyanure de potassium et à l'hyposulfite (Dehan et Sénéchal, 2003). Cette technique, très lourde, imposait au photographe de se rendre sur les lieux de prise de vue avec son laboratoire.

En 1871, le procédé au gélatino-bromure d'argent est inventé : une émulsion de bromure de cadmium, de gélatine et d'eau est sensibilisée au nitrate d'argent, étalée sur une glace puis séchée. Ce procédé permet une meilleure conservation du cliché mais surtout, il peut s'écouler plusieurs mois entre l'exposition et le développement du cliché. Cette méthode permet au photographe de se déplacer plus légèrement, avec un matériel beaucoup plus réduit qu'auparavant.

En 1876, Trutat fréquente encore la région de Saint Antonin comme en atteste sa publication sur un site à *Anthracotherium* (Trutat, 1876a). Par la suite, la plupart de ses publications seront consacrées pour la plupart aux Pyrénées et à la technique photographique.

La technique au gélatino-bromure d'argent se développe à cette époque. En 1878, J. Garcin ouvre à Lyon la première fabrique de plaques sèches au gélatino-bromure d'argent (Dehan et Sénéchal, 2003). Or, l'un des clichés de Trutat porte précisément la mention « émulsion Garcin », ce qui nous permet de dater cette photographie. Toutes les plaques de Trutat utilisant ce procédé illustrent des phénomènes d'érosion karstique: deux dans la région de Caylus, une à Saint-Antonin et les trois autres dans la phosphatière de Raynal. C'est en particulier à ces phénomènes érosifs que Trutat s'intéresse dans les Pyrénées (Trutat, 1874, 1875, 1876b, 1877, 1882, 1886, 1899, s.d. ; Gourdon et Trutat, 1878). Tout laisse donc penser que les images des phosphorites du Quercy en activité ont été réalisées entre 1872 et 1878 et que Trutat y a testé le nouveau procédé photographique au gélatino-bromure d'argent qu'il utilisera par la suite de manière intensive lors de ses explorations pyrénéennes.

#### 4. L'EXPLOITATION DE LA PHOSPHATIERE DE RAYNAL

Cette phosphatière se situe sur la commune de Saint-Antonin. Elle se présente aujourd'hui comme un gouffre de 50 m de long, 10 m de large et 60 m de profondeur, à moitié rempli d'eau. Les déblais de l'ancienne exploitation ont été dispersés dans les champs voisins.

Les clichés de Trutat nous permettent d'observer les techniques d'extraction du minerai et de suivre la progression de l'exploitation. La récolte du minerai se fait de manière très rationnelle, par gradins successifs, de la surface vers la profondeur du gouffre (Fig. 7 et 8). Les couches sont exploitées par les hommes, à la pelle et à la pioche. Dans un premier temps, le minerai est remonté vers la surface à la brouette, par un chemin aménagé au raz de la paroi sur l'un des côtés de l'exploitation (Fig. 7).

Puis, lorsque l'exploitation s'enfonce, les ouvriers amènent le minerai dans le fond du gouffre avec leurs brouettes. Deux treuils sont alors mis en place (Fig. 3 à 6). L'un est un treuil à vapeur (Fig. 4) tandis que l'autre est un treuil à traction animale relié par un système de poulies à une plateforme en bois qui surplombe le gouffre (Fig. 5 et 6) et sur laquelle s'affairent les ouvriers. La phosphorite et les stériles sont remontés dans des tonneaux en bois, cerclés de fer (Fig. 8).

A la surface, le minerai est trié par des femmes (on en distingue une sur la plateforme), selon des pratiques alors en usage dans de nombreuses exploitations minières. Les stériles sont évacués à l'aide de charrettes tirées par des chevaux puis stockés en tas sur les terrains avoisinants tandis que la phosphorite est acheminée vers une grange dans laquelle elle était certainement pesée et conditionnée avant d'être expédiés vers les moulins des vallées du Célé, du Lot ou de l'Aveyron où elle était broyée.

#### 4. LA FAUNE FOSSILE DE LA PHOSPHATIERE DE RAYNAL

Au cours de l'exploitation du site, comme dans la plupart des phosphatières, des restes de mammifères fossiles ont été découverts. La révision des faunes provenant des anciennes récoltes a été effectuée (Sigé *et al.*, 1999). On y trouve : *Cryptomeryx gaudryi*, *Tapirulus hyracinus*, *Anthracotherium magnum*, *Quercygale angustidens*, *Hyaenodon dubius*, *Hyaenodon requieni*, *Plagiolophus fraasi*, *Adapis magnus*, *Necrolemur erinaceus*. Il s'agit d'espèces d'âge varié, certaines éocènes, d'autres oligocènes. Cette hétérogénéité chronologique n'est pas un fait isolé dans les anciennes collections. Plusieurs hypothèses sont envisageables (B. Sigé, comm. pers). Soit, il s'agit d'une somme de récoltes faites à Raynal et ailleurs par un mineur revendeur de fossiles. Soit, il existait dans la zone de Raynal, dans la poche elle-même où à sa périphérie des poches annexes avec des remplissages d'âge différent, qui ont pu être comblées et remises en culture après l'exploitation.

#### CONCLUSION

Si les faunes des phosphorites du Quercy ont été largement investiguées depuis leur découverte, nous ne disposons jusqu'alors que de très peu de données sur les techniques et les modes d'extraction du minerai. Les clichés d'Eugène Trutat, datés entre 1872 et 1878, apportent donc une contribution fondamentale sur ce point et peuvent être utilisés tant par les archéologues miniers que par les ethnologues travaillant sur l'âge d'or économique qu'a connu le sud du Quercy lors de la période d'exploitation des phosphorites.

**Remerciements.** : Les auteurs remercient Cécile Santoul et Sarah Pinet pour le travail de recherche documentaire et biographique sur Eugène Trutat qu'elles ont effectué dans le cadre d'un stage au Muséum.

#### Références bibliographiques

- ARCHIVES MUNICIPALES DE TOULOUSE a, 2 D 200, correspondance 650.  
ARCHIVES MUNICIPALES DE TOULOUSE b, 1 Z 96.  
ARCHIVES MUNICIPALES DE TOULOUSE c, D 200, correspondances n°20 et n°51.  
ASTRE G. (1950) - Le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. Son histoire. *Les Livres du Muséum*, Imprimerie Douladoure, 190 p.  
CARTAILHAC E. (1911) - Notice sur M. Eugène Trutat, membre libre (ancien membre résident). *Bull. Soc. Archéo. du Midi*, Toulouse : [s.n.], 176.  
DEHAN T. et SENECHAL S. (2003) - Guide de la photographie ancienne. *Ed. Eyrolles*, Paris, 123 p.  
FILHOL H. (1877) - Recherches sur les phosphorites du Quercy. *Annales des Sciences géologiques*, Masson, Paris, 1-561.  
GOURDON M. et TRUTAT E. (1878) - Catalogue des blocs erratiques de la vallée de L'Arboust (Pyrénées de la Haute-Garonne). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.12, 188.  
MENDIETA S. (2004) - La leçon de photo du professeur Eugène Trutat. In *La photographie à l'assaut des Pyrénées*, Ed. Glénat, Grenoble, 64.  
MUSEUM DE TOULOUSE, Don Madeleine Trutat, n°124.  
PEYRUSSE C. (1999) - Les Lumières et le milieu des photographes : A propos d'Eugène Trutat et d'une vue inconnue "La sortie du cours de photographie de Toulouse" (6 mars 1898). *Archives*, Perpignan, Institut Jean Vigo, n°82 septembre, 24 p.  
PULOU R. (1980) - Jean André Poumarède et l'exploitation des phosphates du Quercy au XIX<sup>e</sup> siècle. *Mém. Acad. Sci. et B.L. de Toulouse*, 142, 83-92  
SIGÉ B., CROCHET J.Y., HARTENBERGER J.L., REMY J.A., SUDRE J. et VIANEY-LIAUD M. (1979) - Fossilium catalogus, I : Animalia, pars 126, Mammifères du Quercy. *Dr. W. Junk b.v. Publishers*, The Hague, 99 p.  
TERRANCLE P. (2002) - Trutat homme de science et homme de l'art. In *Pyrénées Magazine*, Ed. Milan, Toulouse, H. S. n°6, 17.  
TRUTAT E. (1872a) - Remarques sur les gisements de chaux phosphatées des cantons de Saint-Antonin et de Caylus (Tarn-et-Garonne). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.6, 72.  
TRUTAT E. (1872b) - Deuxième note sur les dépôts phosphatés du Quercy. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.6, p.83.  
TRUTAT E. (1874) - Glaces de fond de la vallée du Lys. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.8, 152.  
TRUTAT E. (1875) - Dépôts glaciaires inférieurs du Tech (Pyrénées-Orientales). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.9, 178.  
TRUTAT E. (1876a) - Gisement de Rhinocéros et d'*Anthracotherium* à Blaye, canton de Saint-Antonin. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, Toulouse, t.10, 164.  
TRUTAT E. (1876b) - Les Glaciers de la Maladetta et le Pic des Posets. *Impr. P. Privat*, Toulouse : 27 p.  
TRUTAT E. (1877) - Les moraines de l'Arboust ancien glacier d'Oô. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.11, 256.  
TRUTAT E. (1882) - Les Traces glaciaires dans la grotte de Lombrives (Ariège). *Gauthier-Villars*, Paris : 3 p.

- TRUTAT E. (1884) - Les Chanteurs toulousains, extrait d'une leçon sur la voix, faite le 31 janvier 1884 au Musée d'Histoire. *Impr. Douladoure-Privat*, s. d., 7 p.
- TRUTAT E. (1886) - Phénomènes glaciaires observés dans la grotte de Lombrive. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.20, XXXV.
- TRUTAT E. (1892) - Conférences publiques sur la photographie théorique et technique. *Gauthier-Villars et fils*, Paris, Conférence du 21 février 1892, 1
- TRUTAT E. (1899) - Matériaux pour l'étude des anciens glaciers des Pyrénées : blocs erratiques du versant nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, t.32, 77.
- TRUTAT E. (1902) - Les Nourrices ariégeoises ». In *L'Avenir de l'Ariège*, Foix, Gadrat aîné : 8 p
- TRUTAT E. (s. d) : Sur les dépôts glaciaires de la vallée inférieure du Tech. *Gauthier-Villars*, Paris : 2 p.
- TRUTAT J. (1981) - « Un précurseur - Eugène Trutat (1840-1910). Conservateur du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse ». In *L'Auta que bufo un cop cado mès*, Toulouse, Société Les Toulousains de Toulouse et amis du vieux Toulouse, n°469, juillet-août-septembre, 210-219.



Figure 1 - Portrait d'Eugène Trutat à l'âge de 20 ans. Coll. M.H.N. Toulouse



Figure 2 - Carrière de phosphorite – Caylus - Plaque négative stéréoscopique (format 13x18cm) au collodion - Stéréoscope - Plaque Dorval – Coll. MHN Toulouse

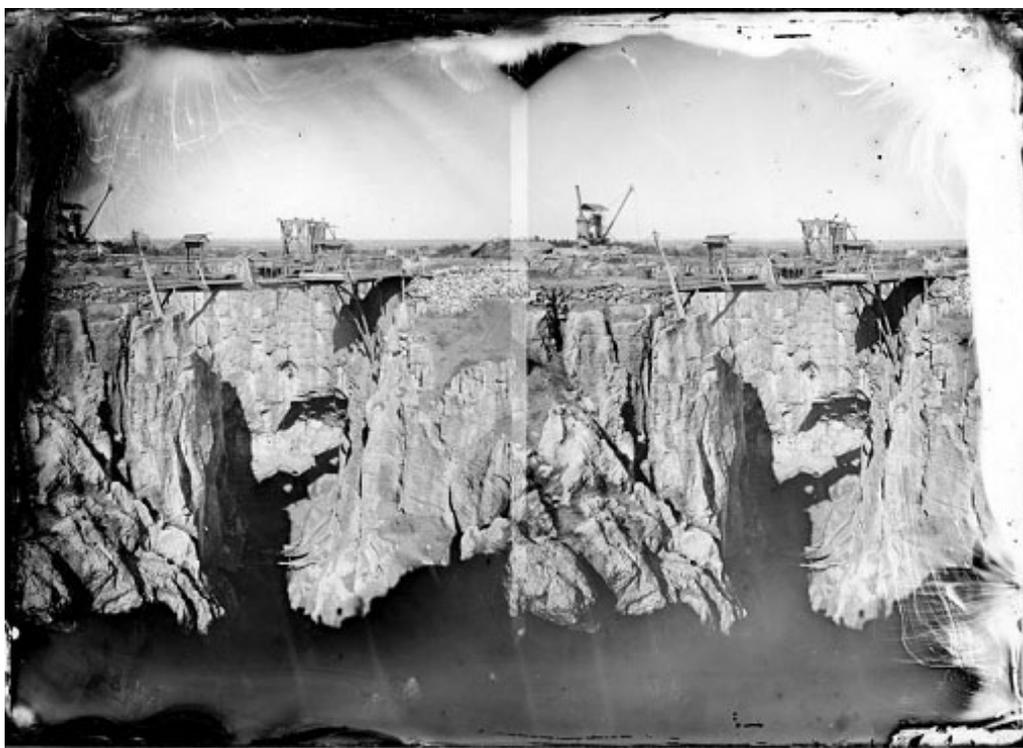


Figure 3 - Phosphatière de Raynal - St Antonin - Plaque négative stéréoscopique au collodion (format 13x18cm) - collodion humide avec Pradel Stéréoscope – Coll. MHN Toulouse



Figure 4 : Phosphatière de Raynal - St Antonin - Plaque négative (format 13x18cm) au collodion – Coll. MHN  
Toulouse



Figure 5 - Phosphatière de Raynal -St Antonin - Plaque négative (format 13x18cm) au collodion – Darlot – Coll. MHN Toulouse



Figure 6 -: Phosphatière de Raynal - St Antonin - Plaque négative (format 13x18cm) au collodion humide – Darlot – Coll. MHN Toulouse



Figure 7 - Phosphatière de Raynal - St Antonin - Plaque négative (format 12x20 cm) au collodion – Coll. MHN Toulouse



Fig. 8 : Phosphatière de Raynal - St Antonin – Vue panoramique reconstituée à partir de trois plaques négative (format 13x18 cm) au collodion – Coll. MHN Toulouse

# Continuité des aquifères du Quercy vers l'ouest : synthèse géologique et hydrogéologique des réservoirs captifs du Jurassique de la plate-forme nord-aquitaine

Jean-Pierre PLATEL\*, Nicolas PEDRON\* & Bernard BOURGINE\*\*

\* BRGM – Service Géologique Régional Aquitaine – 24, Avenue Léonard de Vinci – 33600 PESSAC

\*\* BRGM – Service GEO / G2R - 3, Avenue Claude-Guillemain – 45060 ORLEANS Cedex  
[jp.platel@brgm.fr](mailto:jp.platel@brgm.fr) – [n.pedron@brgm.fr](mailto:n.pedron@brgm.fr) - [b.bourgine@brgm.fr](mailto:b.bourgine@brgm.fr)

Depuis une quinzaine d'années, une baisse généralisée et continue (de l'ordre d'un mètre par an) est attestée pour les nappes profondes en Lot-et-Garonne, notamment celles du Jurassique. Aucune stabilisation ne semblant s'amorcer, il est possible qu'il existe un déséquilibre structurel entre recharge et prélèvements, alors que juste au nord dans le département de la Dordogne, un tel comportement ne se présente actuellement pas. Cependant les prévisions d'exploitation pour l'eau potable de toute la région à moyen terme nécessitent une prise en compte globale de la ressource et une gestion appropriée à l'échelle de l'ensemble de ces aquifères afin de satisfaire à terme les besoins de tous les différents usages.

Aussi dans ce contexte, il est apparu nécessaire d'entamer une réflexion intégrée sur la ressource en eau des nappes profondes de tout le secteur nord-oriental du bassin d'Aquitaine, afin de proposer des outils d'aide à la décision concernant la gestion des différents usages de ces nappes.

Une synthèse des données relatives aux réservoirs du Jurassique (et de la base du Crétacé supérieur) réalisée par le Service géologique Aquitaine du BRGM est en cours d'achèvement. La première partie de cette étude, illustrée ici par quelques figures, est constituée par la synthèse géologique des données de cartographie, de sondages et de géophysique, ce qui a permis de proposer une géométrie par modélisation 3D des principaux réservoirs (Pédron et al., 2008).

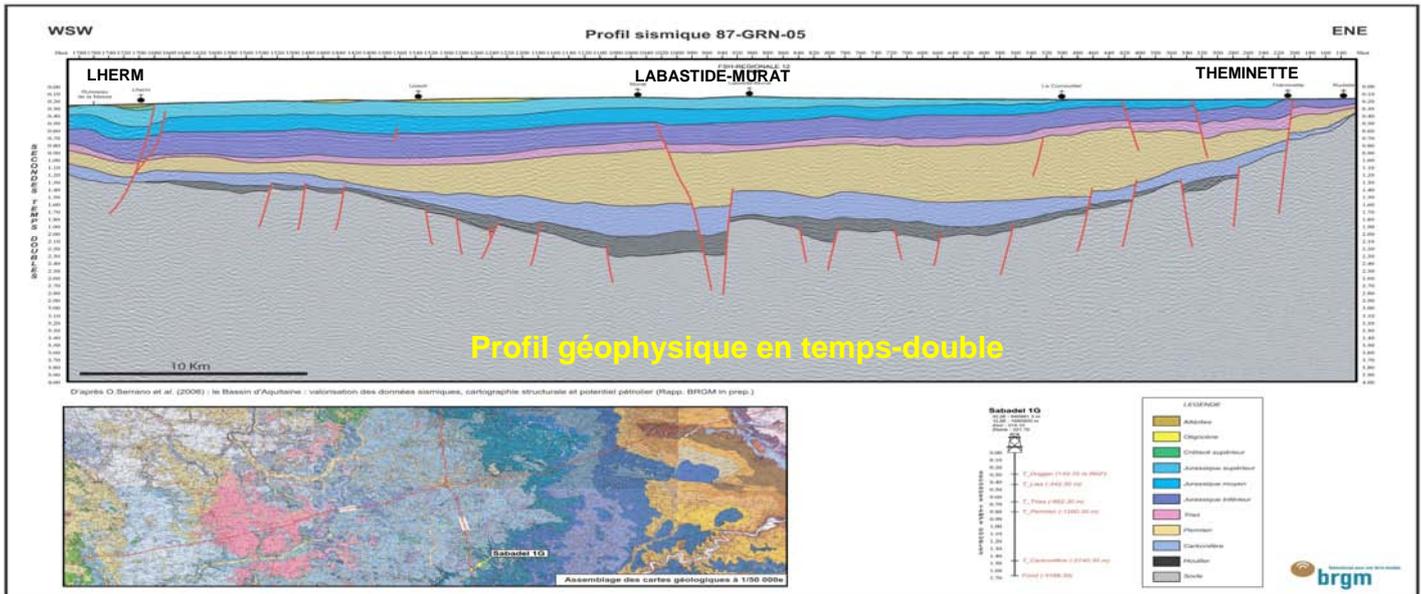
## Données de sondages

Pour établir cette géométrie (toits et murs des formations, répartition des faciès), ont été pris en compte les sondages d'une profondeur supérieure à 25 m, permettant de relayer les coupes des terrains affleurants. Pour la partie de l'étude qui concerne les aquifères du Jurassique, près de 250 sondages ont été sélectionnés dans la Banque des Données du Sous-Sol du BRGM (BSS), mais leur répartition est assez inégale sur le territoire du secteur d'étude, fonction des formations et aquifères existant dans les différents départements. De plus, ces données sont de qualité très variable quant à leur fiabilité de description des terrains traversés, l'attribution stratigraphique des réservoirs captés et la précision des coupes techniques. La plupart sont issues de forages de captage d'eau, mais une quinzaine de grands sondages d'exploration pétrolière (exécutés surtout dans les années 50 et 60), ont aussi fourni de précieux renseignements de calage.

Cependant, comme ces données étaient auparavant affectées d'un degré d'interprétation plus ou moins abouti en fonction de leur ancienneté et des descriptions initiales, elles ont donc nécessité une réinterprétation générale, aboutissant pour nombre de sondages à une réaffectation stratigraphique des formations réservoirs qui captent.

## Géophysique

Cette étude hydrogéologique a aussi bénéficié des données sismique retraitées par le BRGM dans son projet Référentiel Géologique de la France, qui concernent l'est (Quercy) et le sud-ouest (Agenais occidental) de cette région, avec des profils qui totalisent plus de 500 kms ; ils sont principalement extraits des campagnes GOURDON de 1987 et 1990 : le profil 87 GRN 5, qui traverse le Quercy d'ouest en est, entre Pomarède (46), Labastide-Murat et Anglars (46), est présenté (fig. 1) comme exemple de retraitement habillé par le découpage stratigraphique des grands ensembles géologiques.



**Fig 1 - Profil géophysique 87 GRN 05 traversant le Causse de Gramat entre Lherm et Theminette**

On y voit notamment l'épaississement très progressif vers l'ouest des séries du Jurassique moyen et supérieur (*représentés en bleus*) et surtout la très grande puissance des grès et argilites remplissant le bassin permien (plus de 1 500 m dans le milieu du profil - *représentés en bistre*).

### Réservoirs aquifères

Plusieurs études universitaires générales ont peu à peu mis en place la lithostratigraphie des séries mésozoïques de la plate-forme nord-aquitaine, surtout constituée depuis le Jurassique inférieur jusqu'à la fin du Crétacé supérieur par l'accumulation de puissantes formations de calcaires, qui peuvent avoir une épaisseur totale de plus de 1500 m.

Pour le Jurassique, les premières études modernes mettant en œuvre des méthodes d'analyse séquentielle et de reconstruction paléogéographique pour établir la superposition générale des séries jurassiques du nord-est du bassin d'Aquitaine (Charentes, Périgord et Quercy) remontent à la fin des années 60 (Delfaud, 1969, 1970). Puis, à la suite des études biostratigraphiques détaillées de la région charentaise et niortaise (Hantzpergue, 1979, 1987), les plates-formes quercynaises, qui se prolongent en Périgord et Nord-Agenais, ont été plus finement étudiées par les chercheurs de l'Université de Toulouse III pour aboutir à un découpage lithostratigraphique et formationnel précis sur l'ensemble de la série (Pélessié, 1982 ; Rey et al., 1988, 1995 ; Cubaynes, 1986 ; Cubaynes et al., 1989, 2004 ; Lezin, 2000). Les cartes géologiques récentes du Quercy et de la Bouriane et les études appliquées à la recherche des ressources en eau ont progressivement bénéficié de l'apport des études scientifiques (Astruc, 1981 à 2000).

En Dordogne les formations jurassiques sont puissantes de 1 200 m au maximum, y compris la formation à anhydrite hettangienne (200 m environ à la base du Lias). Elles peuvent être un peu plus puissantes dans l'Ouest du Lot-et-Garonne, par l'épaississement de cette même formation à 500 m environ.

Sur l'ensemble de la plate-forme, il est possible d'individualiser de façon assez générale cinq réservoirs dans la série jurassique séparés par des épontes plus ou moins continues. Quatre principaux réservoirs aquifères calcaires le plus souvent karstiques, qui s'étendent sur la majorité des départements du Lot, de Lot-et-Garonne et de la Dordogne et se prolongeant jusqu'en Gironde, sont séparés par des formations marneuses ou marno-calcaires (fig.2). Certaines de ces formations carbonatées sont de vastes réservoirs aquifères dont les qualités varient latéralement en fonction de leur nature lithologique, de la recristallisation/cimentation des faciès, de la karstification, qui présentent des communications plus ou moins faciles entre eux.

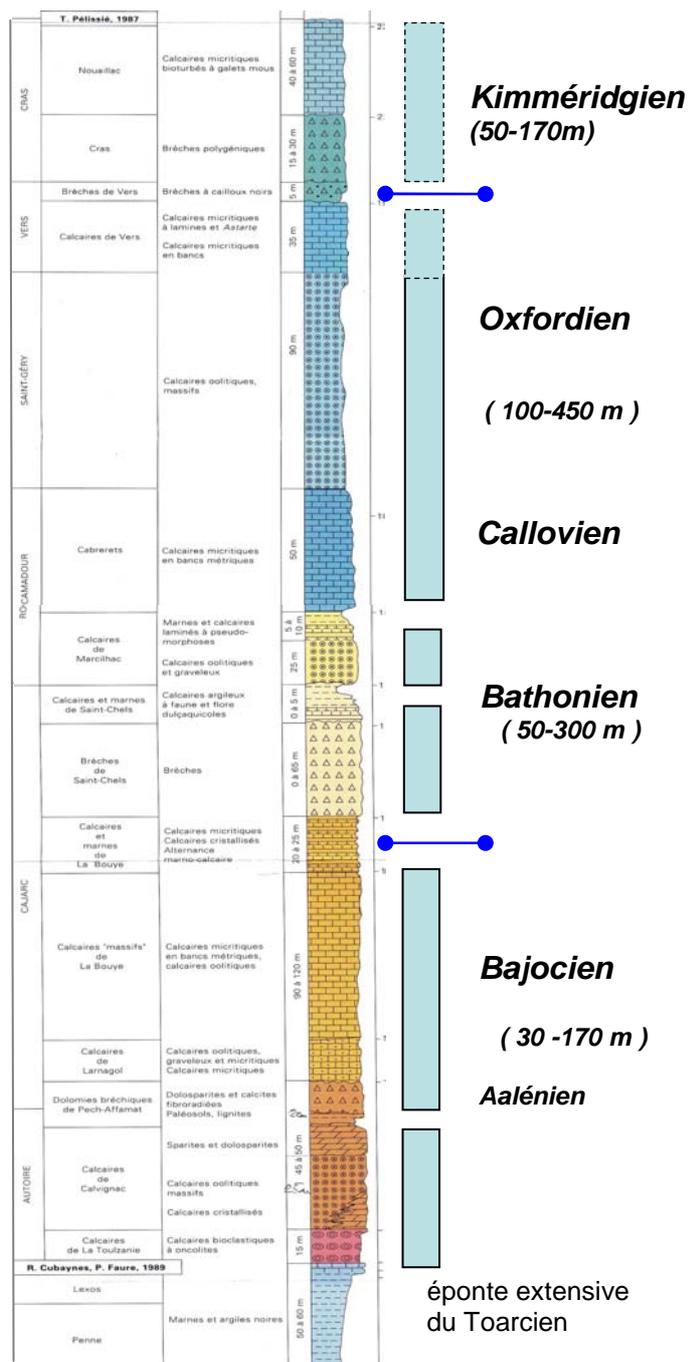


Fig. 2 - Les principaux réservoirs de la série moyenne du Jurassique quercynois (complété d'après Astruc et al, 1996)

Ce sont, de bas en haut (épaisseurs entre parenthèses) :

- les grès et calcaires dolomitiques du **Lias inférieur et moyen** (70/100 m)
- les calcaires et dolomies du **Bajocien** - Formations d'Autoire et de Cajarc inférieure (30/170 m)
- les calcaires du **Bathonien supérieur / Callovien / Oxfordien** - Formations de Cajarc supérieure, de Rocamadour et de Saint-Géry (100/650 m)
- les calcaires de **l'Oxfordien / Kimméridgien basal** - Formation de Cras (50/170 m)

Les épontes imperméables intra-jurassiques sont de bas en haut :

- les marnes du Toarcien (30/40 m), seule éponte continue.
- les calcaires à niveaux marneux du Bathonien inférieur (40/70 m) qui ont tendance à disparaître au centre de la Dordogne et vers l'Ouest
- les marnes de l'Oxfordien supérieur (100/150 m) dans la partie ouest, passant à 30 m environ de série imperméable vers l'est
- les marno-calcaires du Kimméridgien (plus de 200 m) qui séparent presque partout les aquifères jurassiques des aquifères crétacés.

- Un cinquième réservoir calcaire existe localement au-dessus de ces marno-calcaires, constitué par les calcaires dolomitiques du **Tithonien** (ex-Portlandien) - Formations de Salviac et de Peyrilles - 30 à 100 m), qui contient une nappe libre dans le Causse de Florimont-Gaumier (Bouzic) et une nappe captive de faible extension entre Bouglon et Lagrùère. Il se retrouve en Dordogne déconnecté du secteur précédent, aux environs de Chapdeuil-La Tour-Blanche, ainsi que vers l'ouest de la plate-forme dans le sous-bassin de Parentis avec la **Dolomie de Mano** très karstifiée.

## Puissances

Deux cartes issues de la modélisation des principaux réservoirs, sont présentées comme exemples.

**Ensemble Bathonien-Oxfordien.** C'est le réservoir le plus constant sur la plate-forme puisqu'il existe dans tout le Quercy, le Périgord, l'Agenais, le Sud-Charentes et la majorité de la Gironde. Alors que sa puissance moyenne sous couverture (fig. 6) est de 200 m dans les secteurs orientaux du Lot-et-Garonne et de la Dordogne, elle augmente nettement sur un axe Angoulême - Mussidan - Langon - Labrit pour dépasser fréquemment 350 m et même 550 m autour de Langon et au nord de Marmande. Le réservoir se réduit dans le Médoc à moins de 150 m.

Cet axe à forte puissance correspond globalement aux faciès à dominante granulaire (oolithes) qui était déjà connus comme une zone barrière entre les plates-formes interne et externe, traversant le bassin d'Aquitaine de façon méridienne (Delfaud, 1970; BRGM et al., 1974).

**Bajocien.** Il est généralement séparé du précédent par une éponte imperméable de 30 à 50 m environ, correspondant aux marnes de la Bouye (Formation de Cajarc). Ce réservoir a une extension un peu plus restreinte puisqu'il n'existe pratiquement pas en Gironde et dans les Landes (fig. 7). Comme pour le réservoir sus-jacent, il présente une puissance maximale sur un axe Mareuil – Périgueux – Villeréal – Clairac – Agen, dépassant fréquemment 100 m et atteignant 170 m dans le sud de la Dordogne. Cet axe correspond aussi à des faciès granulaires de barrière cimentés et/ou dolomités, décalé vers l'est de 50 km environ par rapport à celui de l'Oxfordien. Ailleurs le réservoir a 30 à 50 m d'épaisseur. Il disparaît progressivement dans le Sud-Charentes et l'est de la Gironde.

### Structuration

Le pendage régional nord-est/sud-ouest fait progressivement plonger les formations jurassiques qui affleurent en Quercy, ses réservoirs se retrouvant presque partout captifs en Lot-et-Garonne, en Dordogne et en Gironde. Deux coupes orthogonales au centre du secteur d'étude ont été choisies (fig. 3 et 4), complétées par la carte du toit du réservoir Bathonien-Calovo-Oxfordien (fig. 5). Les pendages y montrent un approfondissement depuis le Nord de la Dordogne jusque vers la vallée de la Couze et une remontée régulière en direction du Sud vers le promontoire de Montauban. De ce fait, les terrains jurassiques sont peu profonds au Sud de la vallée du Lot (-300 NGF), d'autant que les formations crétacées puissantes de plus de 500 m en Périgord Noir (Lalinde), sont progressivement érodées dans le Nord du Lot-et-Garonne sous la discordance des terrains continentaux tertiaires.

La profondeur du premier réservoir captif du Jurassique (Oxfordien-Kimméridgien en Dordogne et au Nord de la vallée du Lot, réservoirs du Jurassique moyen au Sud) est assez variable (200 à 600 m), son recouvrement pouvant être d'âge Kimméridgien en Dordogne à Tertiaire dans le Sud du Lot-et-Garonne.

En Dordogne, le toit du premier aquifère jurassique (Oxfordien-Kimméridgien) se trouve à l'affleurement (nappe libre) dans le causse Cubjac à l'Est de la faille du Change et devient captif à l'Ouest de l'accident où il s'enfonce à -100 m NGF à l'Est de Périgueux, -750 m NGF dans le secteur de Mussidan et -1 200 m sous la vallée de la Dordogne vers Montcaret.

En Lot-et-Garonne, à part le réservoir du Tithonien, le toit du premier aquifère jurassique captif (Oxfordien-Kimméridgien) se situe à -60 m NGF dans le Nord-Est du département (structure de Sauveterre) et s'enfonce vers -200/-550 m NGF sous la vallée du Lot, pour se trouver à -850 m NGF dans le secteur de Casteljaloux. Comme la discordance du Turonien et l'épaississement des formations détritiques tertiaires s'accroissent au Sud de la vallée du Lot, ce ne sont que les réservoirs inférieurs du Jurassique qui se rencontrent au Sud de la Garonne (forage F1 du Passage, par ex). De manière générale, les forages des environs d'Agen-Villeneuve captent des aquifères différents.

**En résumé**, la synthèse géologique et hydrogéologique des réservoirs du Jurassique a permis d'établir une géométrie par modélisation intégrée dans MONA (**MO**dèle **N**ord-**A**quitain), afin de proposer des outils d'aide à la décision concernant la gestion globale des nappes d'eaux souterraines captives de tout le secteur nord-oriental du bassin d'Aquitaine.

### Références sélectionnées

ASTRUC J.G., CUBAYNES R., FABRE J.-P., GALHARAGUE J., LEFAVRAIS-RAYMOND A., MARCOULY R., PÉLISSÉ T., REY J., SIMON-COINÇON R. et TURQ A. (1996) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille SOUILLAC (809). Orléans : BRGM, 76 p.

BRGM, ELF-Re., ESSO-REP, SNPA (1974) - Géologie du Bassin d'Aquitaine. BRGM Orléans, 26 planches

DELFAUD J. (1970) - Résumé d'une recherche sur la dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé inférieur. *Actes Soc. Linnéenne de Bordeaux*, vol. spécial, 139 p. (résumé de la Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences, Université de Bordeaux - 1969).

CUBAYNES R., FAURÉ P., HANTZPERGUE P., PÉLISSÉ T. et REY J. (1989) - Le Jurassique du Quercy : unités lithostratigraphiques, stratigraphie et organisation séquentielle, évolution sédimentaire. *Géologie de la France*, n°3, p. 33-62.

CUBAYNES R., HANTZPERGUE P., LEZIN C., MAZIN J.M., PÉLISSÉ T. et REY J. (2004) - Les dépôts littoraux du Jurassique sur la bordure quercynoise (Aquitaine). Livret Guide de l'excursion GFEJ-AGSO - *Strata*. 2004 – Série II Mémoire 42, 85 p.

LEZIN C. (2000) - Analyse de faciès et stratigraphie intégrée : application aux événements du passage Lias-Dogger sur la plate-forme du Quercy - *Strata*, 2000 - Mémoire 35, 317 p. (Thèse d'Université -Toulouse III).

PÉDRON N., PLATEL J.P., BOURGINE B. (2008) – Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine – Développements et maintenance du Modèle Nord-aquitain de gestion des nappes. Module 4 – Année 4. Rapport BRGM à paraître

PÉLISSÉ T. (1982) - Le Causse jurassique de Limogne-en-Quercy : stratigraphie, sédimentologie, structure. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 281 p.

REY J., CUBAYNES R., FAURÉ P., HANTZPERGUE P. et PÉLISSÉ T. (1988) - Stratigraphie séquentielle et évolution d'une plate-forme carbonatée : le Jurassique du Quercy (Sud-Ouest de la France). - *C. R. Acad. Sciences Paris*, t. 306, série II, p. 1009-1015.

REY J., CUBAYNES R., HANTZPERGUE P. et PÉLISSÉ T. (1995) - Le Jurassique du Quercy in "Du Lias nord-aquitain aux molasses miocènes. Généralités". *Strata*, (2), 26, p. 19-62.

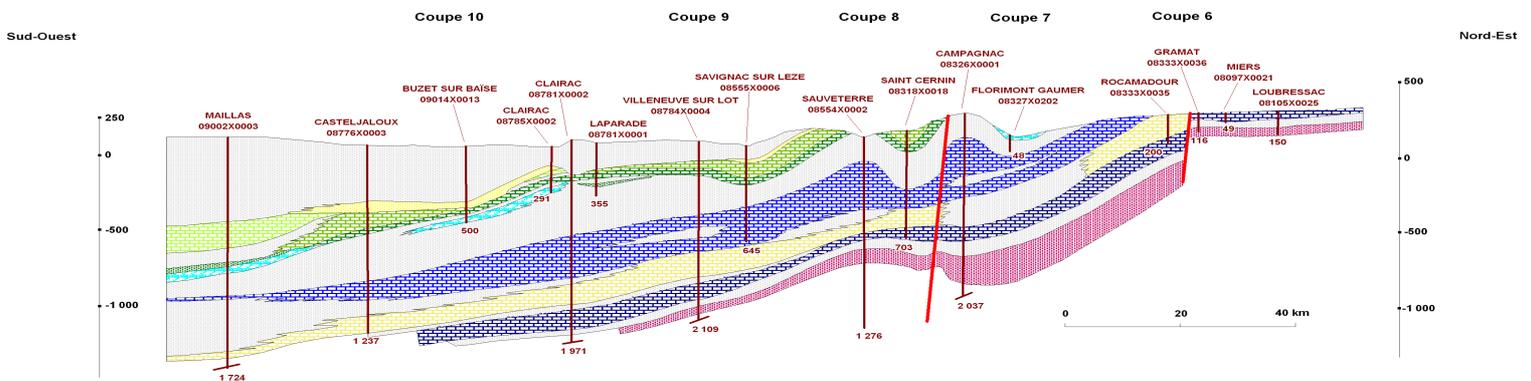


Fig. 3 - Coupe géologique-réservoir schématique n°4 entre Maillas (40) et le Causse de Gramat (46)

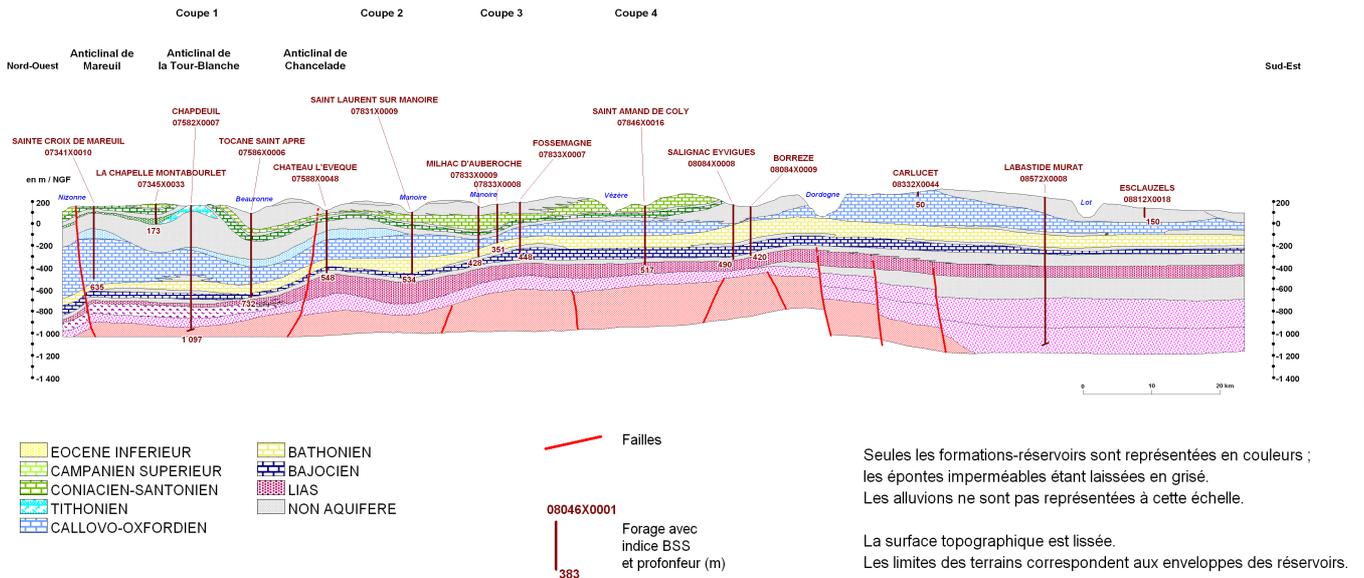


Fig. 4 - Coupe géologique-réservoir schématique n°6 entre Mareuil (24) et le nord du Causse de Limogne (46)

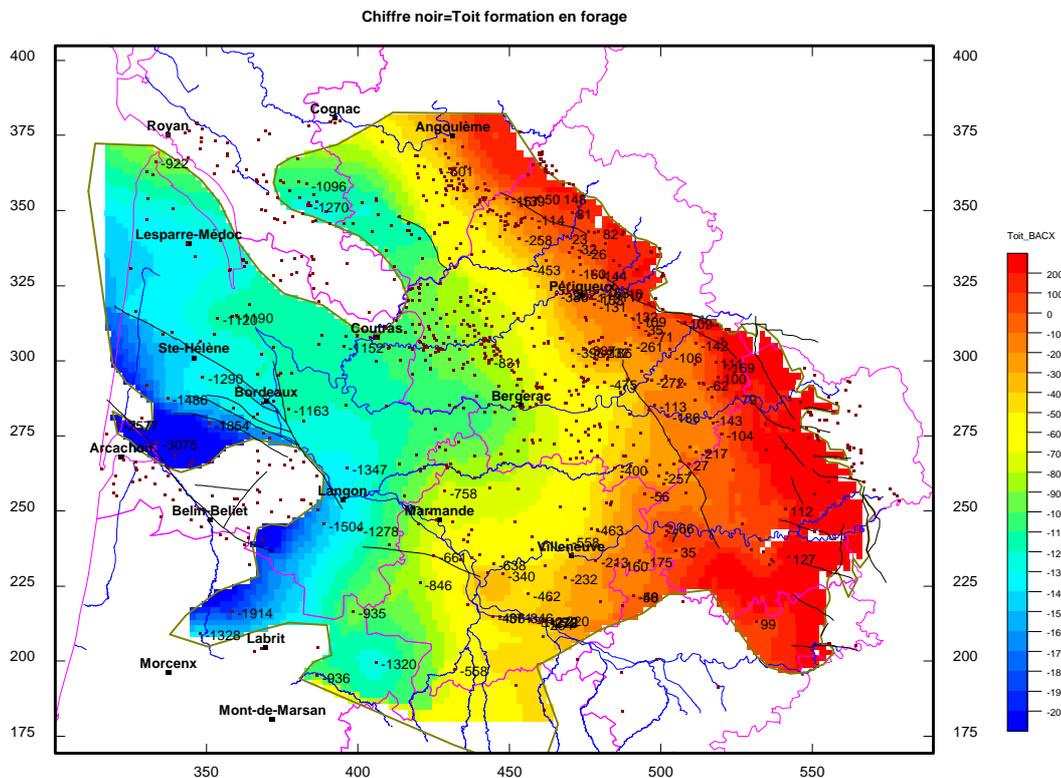


Fig. 5 - Surface de toit du réservoir principal Bathonien-Oxfordien modélisée dans MONA

Chiffre noir=Epaisseur formation en forage

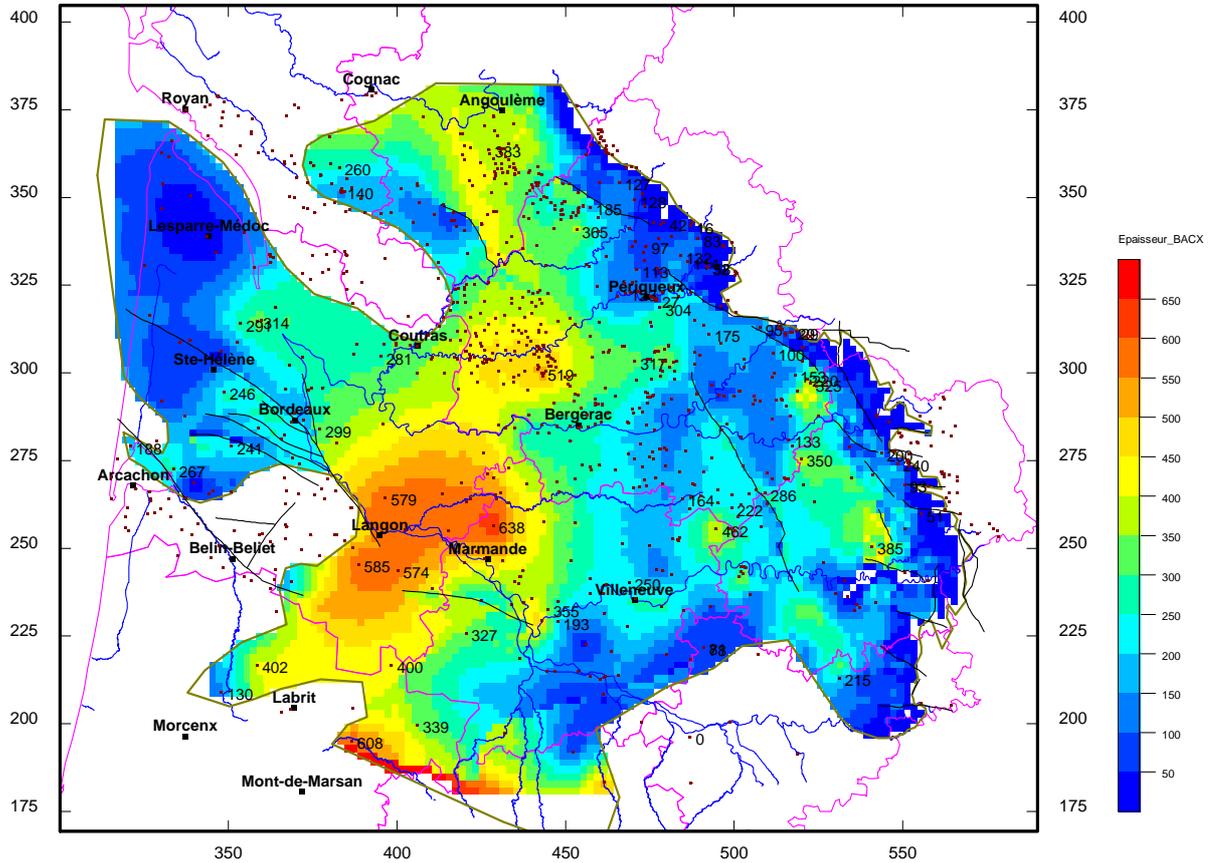


Fig. 6 - Puissance du réservoir principal Bathonien-Oxfordien modélisée dans MONA

Chiffre noir=Epaisseur formation en forage

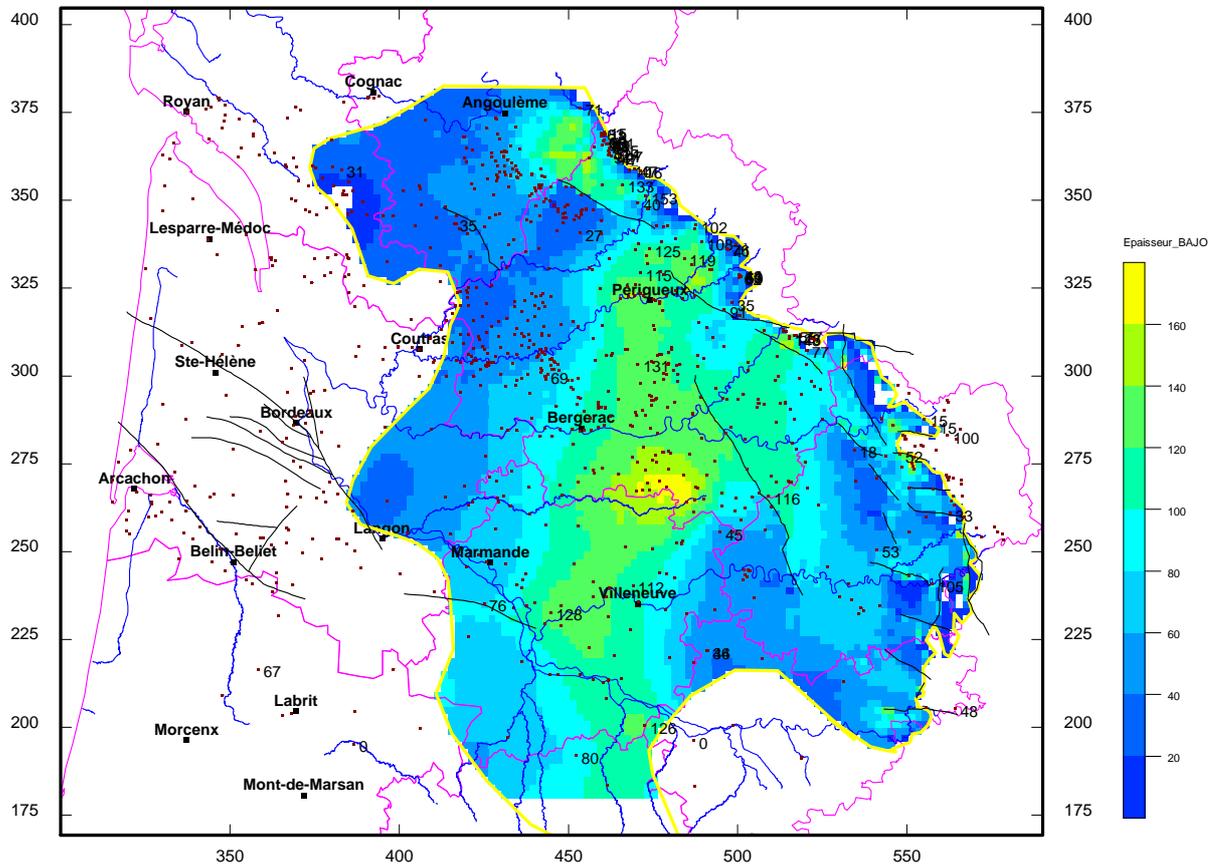


Fig. 7 - Puissance du réservoir du Bajocien modélisée dans MONA

# Le système karstique de la Fontaine des Chartreux : approche couplée par la modélisation et la géochimie pour quantifier les apports du Lot

François Moussu, Valérie Plagnes, Ludovic Oudin, Clément Roulet

UMR 7619 Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex, France

## Introduction

La Fontaine des Chartreux est une importante source karstique, elle alimente la ville de Cahors en eau potable. La configuration originale de ce système karstique (SK) où l'eau de la source est un mélange d'eau en provenance du Lot et d'eau karstique demande une connaissance approfondie de cette contribution. L'approche présentée ici s'inscrit dans l'optique d'une meilleure compréhension du fonctionnement du SK des Chartreux, l'objectif étant de quantifier la contribution de la rivière Lot dans le SK. Nous présenterons les caractéristiques de ce SK et, son fonctionnement hydrologique à partir des données à notre disposition. En effet un suivi régulier de la source a commencé en 1976 mais celui-ci n'a pas été réalisé en continu. Ainsi, nous avons à notre disposition deux périodes aux conditions climatiques très différentes : une période humide 1976/1983 (925mm/an) et l'autre sèche 2000/2007(780mm/an). Nous aborderons également le fonctionnement géochimique particulier de la fontaine et comment la détermination de la contribution du Lot a pu être estimée à l'aide d'analyses géochimiques. Enfin à partir de ces informations, nous avons développé un modèle pluie-débit capable de tenir compte des apports, et de les quantifier au cours du temps.

## Le système karstique de la Fontaine des Chartreux

La Fontaine des Chartreux est l'exutoire principal d'un SK dont le bassin d'alimentation est estimé à 250km<sup>2</sup>, situé sur le Causse de Limogne au cœur du Parc naturel régional des Causses du Quercy. Le SK est développé dans les calcaires du Jurassique supérieur d'âge Callovien, Oxfordien et Kimméridgien inférieur, faiblement inclinés en direction du Nord-Ouest. Dans la partie aval du bassin versant, les terrains argileux du Kimméridgien supérieur se superposent en continuité stratigraphique, à l'ensemble inférieur. D'un point de vue hydrologique, le SK de la Fontaine des Chartreux reçoit une lame d'eau moyenne de 865 mm par an. L'originalité de ce SK vient du fait que l'alimentation de cet aquifère se fait d'une part par les pluies que reçoit le bassin d'alimentation et d'autre part par plusieurs pertes du Lot.

La mesure du débit de la Fontaine des Chartreux n'est pas directe, la géométrie particulière de la vasque à proximité du Lot et la présence d'un débit de fuite souterraine vers la rivière ne le permet pas. Celui-ci est calculé à partir d'une formule empirique développée par Barrère (2001) qui prend en compte l'enregistrement de plusieurs niveaux entre la vasque et le Lot. (cf. Figure 1)

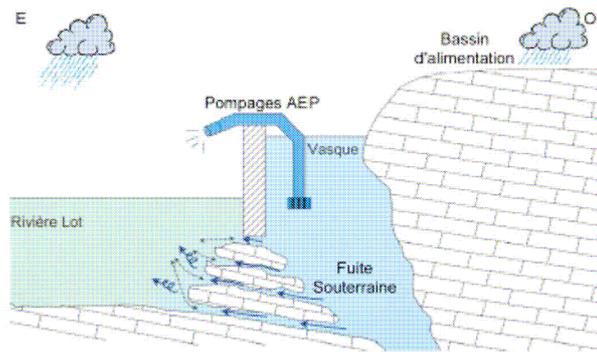


Figure 1 : Représentation du fonctionnement de la Fontaine des Chartreux (Hoareau, 2005)

## Variation climatique régionale entre la période 1976/1983 et la période actuelle 2000/2007

Nous avons à notre disposition des données de débit à la Fontaine des Chartreux avec une lacune des données d'une vingtaine d'années : entre 1983 et 2000 le suivi des différentes hauteurs d'eau des vasques de la fontaine n'a pas été réalisé. L'analyse du débit spécifique annuel moyen entre les données anciennes (1976 /1983) et les données actuelles (2000 /2007) montre une diminution de 38 %. Ainsi pour vérifier la stationnarité des conditions climatiques sur le SK entre les deux périodes de suivi de la Fontaine des Chartreux nous avons étudié l'ensemble des débits spécifiques régionaux sur les quarante dernières années. Roulet (2007) a montré que l'évolution des débits spécifiques régionaux montre de fortes oscillations sur l'ensemble de la période. La première période (1976 /1983) se trouve dans une période de forts débits spécifiques alors que la période actuelle connaît de faibles débits spécifiques (Figure 2). Une telle variation des débits spécifiques régionaux peut être expliquée par la baisse des précipitations ou la modification des périodes de pluviométrie (Solignac, 2006). L'analyse des précipitations montre une diminution de 17 % des précipitations entre la période ancienne et la période actuelle. Notons également une modification de la répartition des précipitations au cours de l'année : lorsqu'elles étaient plus importantes durant les mois d'hiver pour la période ancienne, les précipitations sur la période récente sont plus fortes durant l'été. Ces différences de répartition ont une influence sur la recharge de l'aquifère, les mois d'hiver n'étant pas soumis à une évapotranspiration importante par rapport aux mois d'été. La diminution des précipitations et la modification de leurs répartitions pourraient expliquer en partie les différences de débit spécifique entre les deux périodes étudiées.

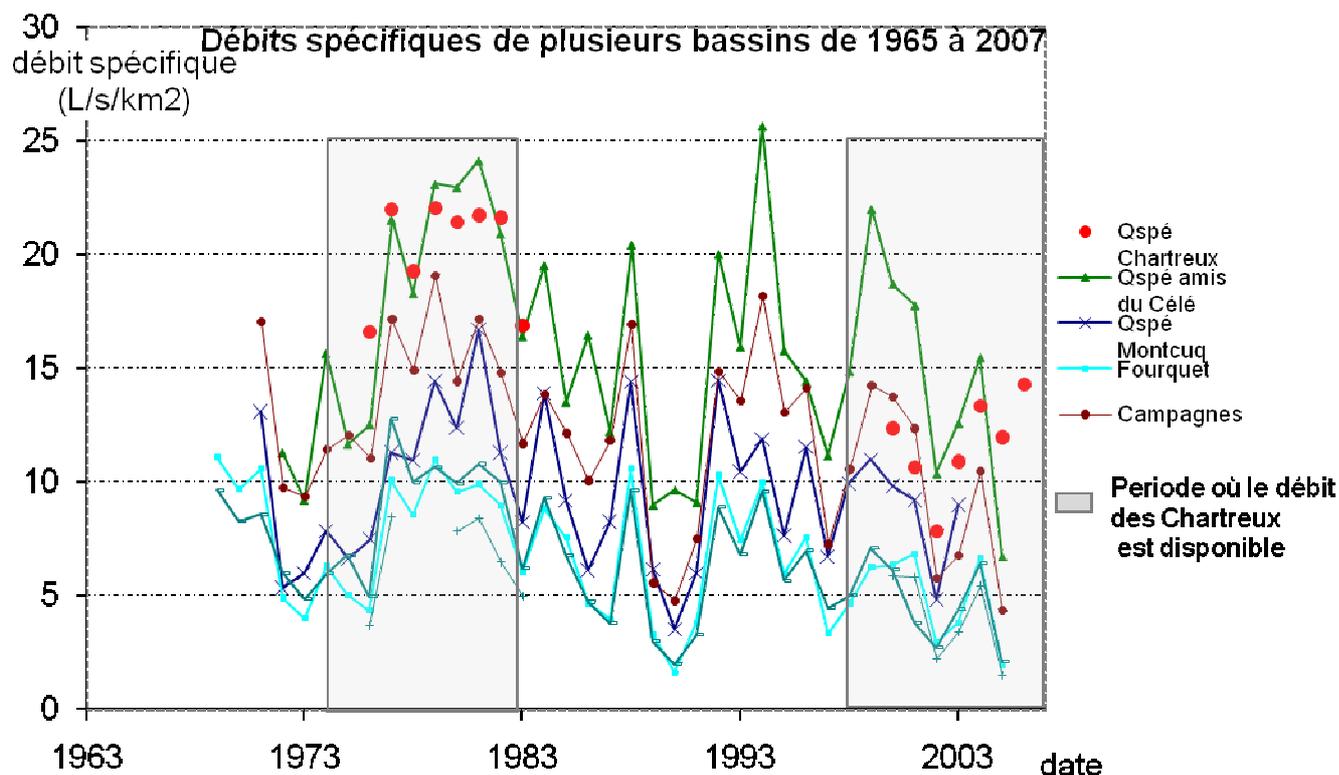


Figure 2 : Evolution des débits spécifiques régionaux (Roulet, 2007)

## L'apport de la géochimie dans la compréhension du fonctionnement du SK de la Fontaine des Chartreux

La configuration originale du SK où l'eau de la source est un mélange d'eau en provenance du Lot et d'eau karstique nécessite de quantifier ce taux de mélange. L'étude des analyses géochimiques a pour but d'estimer la proportion d'eau du Lot dans les eaux du SK. Nous avons pour cela caractérisé chimiquement les eaux impliquées dans ce mélange : d'un côté l'eau du Lot et de l'autre une eau karstique pure. Nous avons utilisé la concentration en calcium dans le Lot et à la Fontaine des Chartreux. Les concentrations en calcium des prélèvements d'eau dans le Lot varient peu dans le temps et sont faibles [17mg/L] en comparaison des concentrations à la Fontaine des Chartreux [70mg/L]. Le pôle « eaux de surface » est déduit des concentrations dans le Lot alors que le pôle « eau karstique » est estimé à partir des prélèvements à la Fontaine en période de crue, période pour laquelle les apports sont négligés. Les résultats présentés sur la Figure 3 montrent que les pourcentages d'eau en provenance du Lot oscillent entre 0 et 46%, les apports étant importants quand le débit à la source est faible, et plus faibles quand le débit augmente.

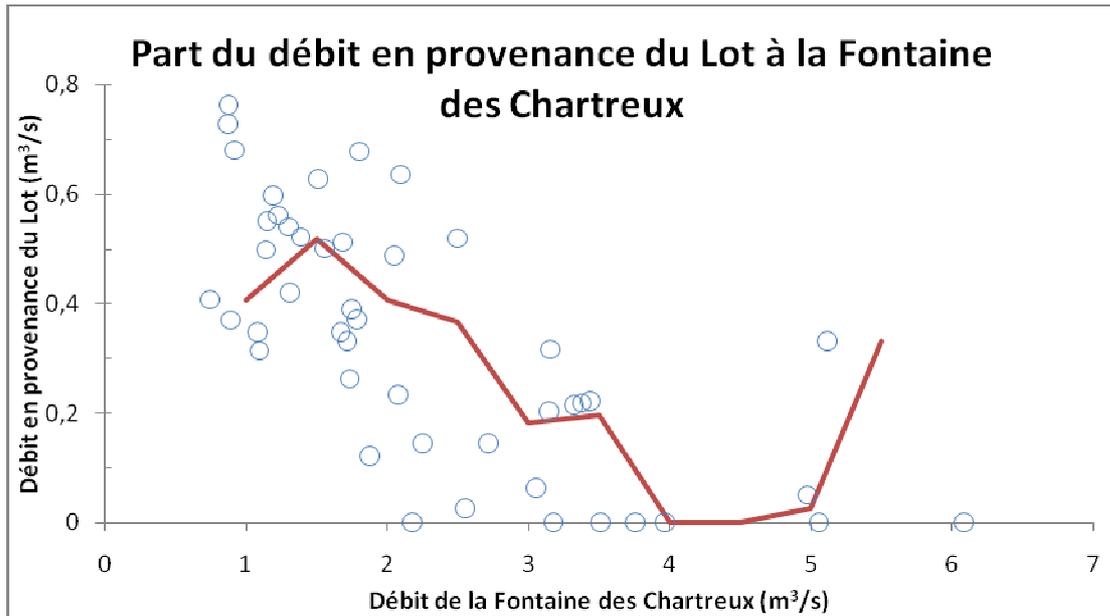


Figure 3 Relation entre le débit de la Fontaine des Chartreux et le débit du Lot (modifié à partir de Roulet, 2007)

### Modélisation du fonctionnement du système karstique des Chartreux

Notre approche consiste à utiliser un modèle conceptuel pluie-débit pour simuler l'hydrogramme de la source au pas de temps journalier. Le modèle utilisé est constitué d'une fonction de production qui calcule une pluie efficace à partir de la pluie et de l'évapotranspiration (cette fonction est celle du modèle GR4J (Perrin, 2003)). La fonction de transfert transforme la pluie efficace en un débit à la source (cette fonction consiste en un réservoir à vidange linéaire). Un module complémentaire est ajouté pour simuler les apports du Lot en fonction du débit simulé par le modèle de façon anti-proportionnelle à celui-ci. Les deux paramètres de cette fonction linéaire ont été fixés à partir de l'étude des analyses chimiques (cf. figure 3). La Figure 4 indique le schéma général du modèle hydrologique qui comporte 2 réservoirs et 4 paramètres.

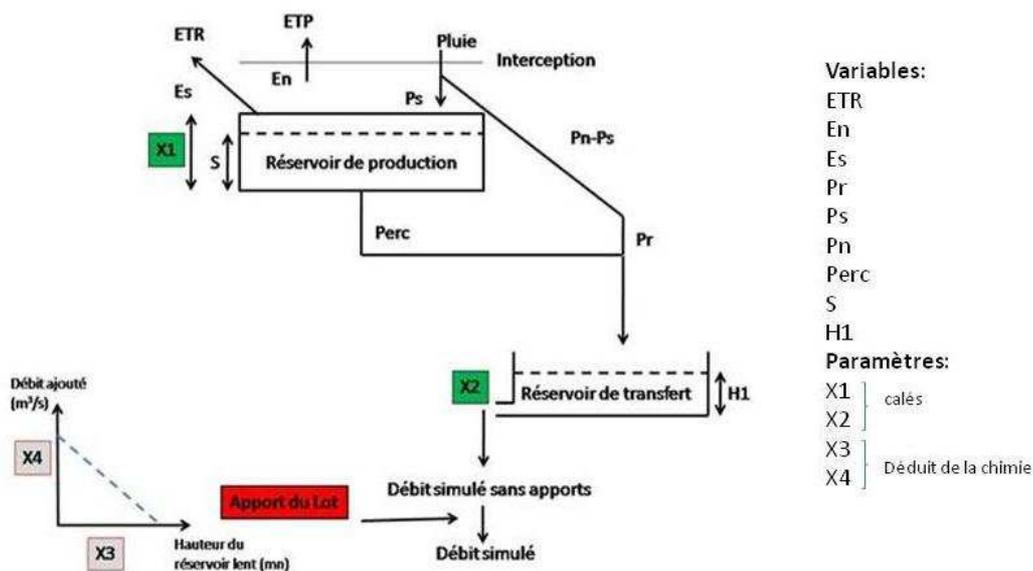


Figure 4 : schéma de la structure du modèle

Nous avons vu qu'il existe une différence nette entre les débits spécifiques sur les deux périodes de suivi du débit à la Fontaine des Chartreux. Si nous considérons ces deux périodes indépendamment l'une de l'autre nous pouvons à l'aide de notre modèle simuler correctement le débit de la Fontaine des Chartreux (critère de Nash au calage : période ancienne=72.6 % période actuelle =67.5 %). Cependant les paramètres obtenus sur la période (1976 /1983) ne permettent pas d'obtenir de bonnes simulations sur la période actuelle et vice versa. La structure du réseau de drainage et les écoulements vers la source doivent être les mêmes entre le début de la période d'étude et aujourd'hui, mais son fonctionnement ne doit pas être identique suivant l'intensité de la recharge. Malgré la nette diminution du débit spécifique entre la période (1976 /1983) et la période actuelle, nous avons choisi de réaliser un calage sur l'ensemble de la période 1976-2007, afin d'obtenir une modélisation avec un jeu de paramètres qui permette de simuler correctement le débit de la source pour toutes les conditions climatiques on obtient un critère de Nash de 69.5 %(Figure 5).

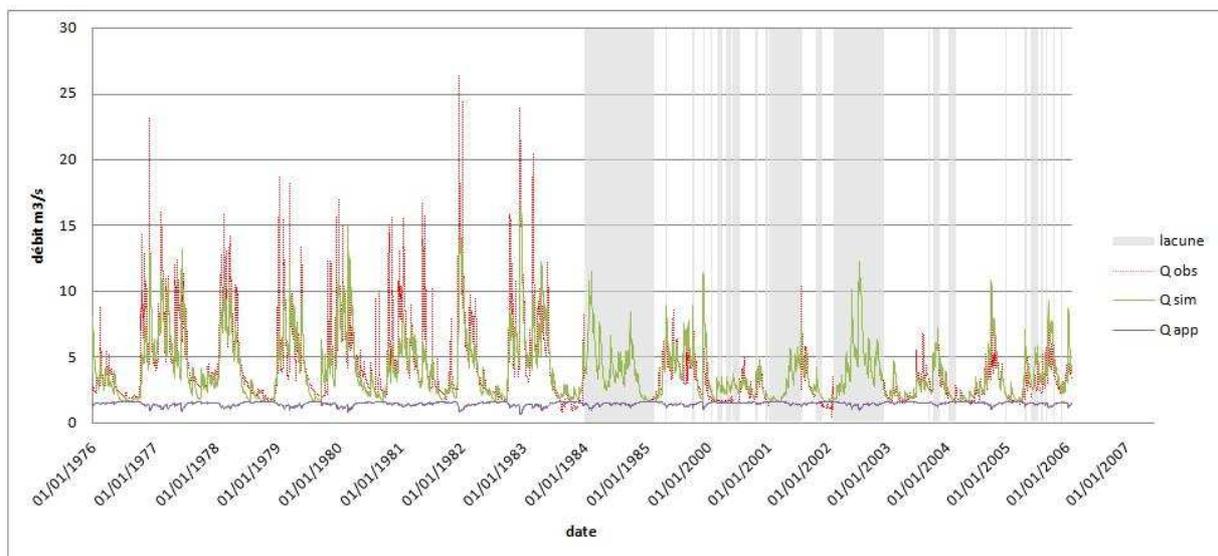


Figure 5 : Hydrogrammes observés et simulés à la Fontaine des chartreux sur l'ensemble de la période 1976/2007

## Conclusion

Ce travail montre qu'un modèle conceptuel simple peut représenter avec des performances assez bonnes un système aussi complexe. De plus la modélisation permet de quantifier la contribution du Lot au cours du temps. Cet outil peut ainsi servir au gestionnaire en charge de la gestion de la ressource et de l'alimentation en eau potable de la ville de Cahors. De plus, cette approche peut être appliquée facilement à d'autres systèmes karstiques avec des enjeux similaires.

## Bibliographie

**Barrère R.**, 2001. Fontaine des Chartreux à Cahors – Etudes hydrauliques – Révision du mode de calcul du débit par suite de diverses modifications. *Rapport d'expertise de la DDAF du Lot*, 28p.

**Hoareau J.**, 2005. Contribution à l'étude du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). *Mémoire de Master 2, Univ. Pierre & Marie Curie, Paris*, 50p.

**Perrin C., Michel C., Andréassian V.**, 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, Volume 279, Issues 1-4, 275-289.

**Roulet C.**, 2007. Modélisation du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). Mémoire de stage de fin d'étude, école polytech' Paris

**Solignac E.**, 2006. Modélisation du fonctionnement du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). Mémoire de Master 2, Université Pierre et Marie Curie

## Actualisation de la synthèse hydrogéologique du département du LOT

Mélanie Bardeau

*BRGM - Service Géologique Régional de Midi-Pyrénées - 3, rue Marie Curie - Bât ARUBA - BP 49 - 31 527 RAMONVILLE SAINT AGNE CEDEX - m.bardeau@brgm.fr*

Soucieux d'améliorer la connaissance et la gestion des eaux souterraines dans la région Midi-Pyrénées, le BRGM a élaboré en partenariat avec l'Agence de l'Eau et le Conseil Régional, un programme d'études planifiées sur six ans, à partir de 2008, appelé ONGERE. Il doit permettre d'aboutir à une amélioration de la connaissance sur les eaux souterraines suffisante pour permettre la réalisation d'un outil d'aide à la décision sur le territoire régional.

Dans le département du Lot, la connaissance des eaux souterraines constitue une thématique importante par le caractère diffus de son réseau de production d'eau potable et la grande vulnérabilité intrinsèque de ses aquifères karstiques.

Une opération d'Evaluation des Ressources Hydrauliques de la France a été lancée par le BRGM dans la période 1970 - 1980. Dans ce cadre, un état des connaissances et une première synthèse hydrogéologique du département du Lot ont été réalisés en 1976 par J-C Soulé (Rapport n°76 SGN 001 MPY), suivis d'un inventaire de cavités actives et d'une carte hydrogéologique au 1/100 000 (Astruc J.G. et Soulé J.C, 1977).

Depuis, aucune opération d'actualisation des données et de synthèse des connaissances capitalisées n'a pu être menée. Il apparaît donc nécessaire de pallier à cette rupture dans la valorisation et la mise à disposition de la connaissance par la mise en place d'une nouvelle synthèse hydrogéologique du département du Lot, intégrant naturellement les nouvelles données disponibles mais aussi la mise en œuvre des moyens modernes de mise en forme (SIG) et de communication de l'information (Internet).

Il est donc proposé d'actualiser en la complétant la synthèse hydrogéologique du département du Lot.

### **Objectifs et programme des travaux**

L'actualisation de la synthèse hydrogéologique du Lot prévoit la mise à jour et la valorisation, à l'aide des outils modernes de communication, des différents thèmes abordés dans la synthèse de 1976, à savoir :

- Le contexte géographique et les activités humaines du département, qui comprend une description de la géographie physique, les activités humaines et leur répartition sur le territoire, la climatologie et les régimes hydrologiques des grands cours d'eau, et une description des principales formations géologiques.
- Les ressources en eaux souterraines : ce volet comprend le découpage du département en systèmes aquifères d'échelle locale, la collecte de données hydrogéologiques sur ces entités, et l'évaluation des réserves en eau souterraine.
- L'exploitation des eaux souterraines : les données de prélèvements sur les eaux souterraines en fonction des différents usages, la composition chimique moyenne des eaux, l'inventaire des eaux minérales, une carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, l'inventaire des principaux agents de pollution.
- La conservation et la protection des eaux souterraines : il s'agira de mettre à jour les protocoles à mettre en place pour la préservation quantitative et qualitative des eaux

et de faire le bilan sur les études complémentaires à entreprendre sur le département.

- L'inventaire des points d'eau et cavités souterraines : l'inventaire de 1976 doit être corrigé, notamment pour la localisation des points, complété et saisi dans une base de données facilement exploitable.
- La liste des captages d'adduction d'eau potable et une synthèse de leurs analyses chimiques.

Au-delà des objectifs d'actualisation et de mise en forme des données traitées dans la précédente synthèse, ce projet a également pour objectif d'apporter de nouveaux outils permettant de centraliser les résultats des différentes études hydrogéologiques menées depuis 1976. Ils constituent également des outils d'aide à la décision pour les différents acteurs de l'eau du département. Dans ce cadre, il est prévu de réaliser :

- Une carte lithologique à 1/125 000 de département, à partir de la carte géologique harmonisée à 1/50 000 du BRGM,
- Une carte hydrogéologique à 1/125 000 de département, à partir de la carte géologique harmonisée à 1/50 000 du BRGM,
- Le découpage du département en systèmes aquifères d'échelle locale, régionale et nationale.
- Une base de données sur les traçages des eaux souterraines du département, couplée à Système d'Information Géographique permettant l'édition de cartes,
- Une base de données sur les résultats des études isotopiques menées dans le Lot et un guide méthodologique sur les outils isotopiques pertinents à utiliser,
- L'évaluation de la ressource en eau renouvelable pour les systèmes karstiques disposant de chroniques de débits (Blagour de Souillac, Cennevières, Lantouy, Chartreux, et éventuellement Soturac).

L'actualisation de la synthèse vise également à structurer et valoriser toutes ces nouvelles données par l'intermédiaire d'un SIG et de bases de données, consultables sur Internet et via le Réseau Partenarial des données sur l'Eau.

### **L'avancement**

Cette étude a débuté en janvier 2008 et doit s'achever à la fin du premier trimestre 2009.

A l'heure actuelle, les travaux menés sur la conception de la base de données Traçages, la base de données sur les outils isotopiques, la carte lithologique et hydrogéologique et l'inventaire des cavités karstiques en eau sont achevés.

### **Les premiers résultats**

#### *La base de données sur les traçages*

Une base de données sur les traçages eaux karstiques du Lot a été développée à partir d'un modèle de données créé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. L'analyse des différents rapports de traçage collectés auprès de la DDEA 46, des bureaux d'études et autres partenaires ont montré la nécessité d'enrichir cette base de nombreux autres champs descriptifs des opérations de traçage.

A l'heure actuelle, cette base comprend 35 traçages déjà recensés en 1976 par J-C Soulé, ainsi que 165 traçages réalisés depuis, soit 200 opérations de traçages qui concernent 116 points d'injection et 90 points de surveillance.

L'illustration n°1 ci-après présente les principaux menus de la base de données TRACAGE :

The screenshot displays the 'TRACAGE' database interface. At the top, the description is 'Traçages quantitatifs de systèmes karstiques Font del Pito : Injection au Château d'Assier'. Below this, there are fields for 'Système Aquifère Niveau 3', 'Code traçage: 679', and 'Multitraçage'. There are also fields for 'Maître d'ouvrage' and 'Partenaire' (1-4). A button 'Aperçu Fiche Traçage' and 'Imprimer Fiche Traçage' are visible. Below these is a section for 'référence(s) bibliographique(s) concernant ce traçage' with a count of 0. The main section is divided into 'POINT(S) D'INJECTION' and 'POINT(S) DE SURVEILLANCE'. Under 'POINT(S) D'INJECTION', there are fields for 'Code Injection: 1188', 'Code Point: 460091', and 'Code traçage: 679'. A yellow header 'INFORMATIONS SUR LE POINT D'INJECTION' is followed by a detailed form with fields for 'Code Point: 460091', 'Type point: Injection', 'INSEE: 46009', 'Département: 46\_Lot', 'Région: Midi-Pyrénées', 'Commune: ASSIER', 'Lieu: Perte du château d'Assier', 'Nature: Cavité impénétrable + Perte perenne', 'Code B55: 08345X0043/HY', and 'Usage'. There are also coordinate fields (X Lambert Zone, Y Lambert Zone, Z Cote au sol) and a 'Qualité localisation' dropdown. Below this is a section for 'INFORMATIONS RELATIVES A L'INJECTION' with sub-sections 'INFORMATIONS' (Operator, Date, Configuration, Type, Tracer, State) and 'HYDROLOGIE' (Debit, Conditions, Thickness). A 'COMMENTAIRES' section contains the text: 'Le traceur injecté aux pertes du Château est surveillé à l'aide de préleveurs automatiques à La Diege et au Pito'. At the bottom, there is a 'PHOTO DU POINT D'INJECTION' section.

Illustration 1 – Menu de saisie/consultation d'un traçage – Exemple de la perte d'Assier

Cette base est couplée à un système d'information géographique qui permet d'éditer des cartes de localisation des traçages. Une première carte de représentation des traçages collectés sur le Lot est présentée en illustration n°2.

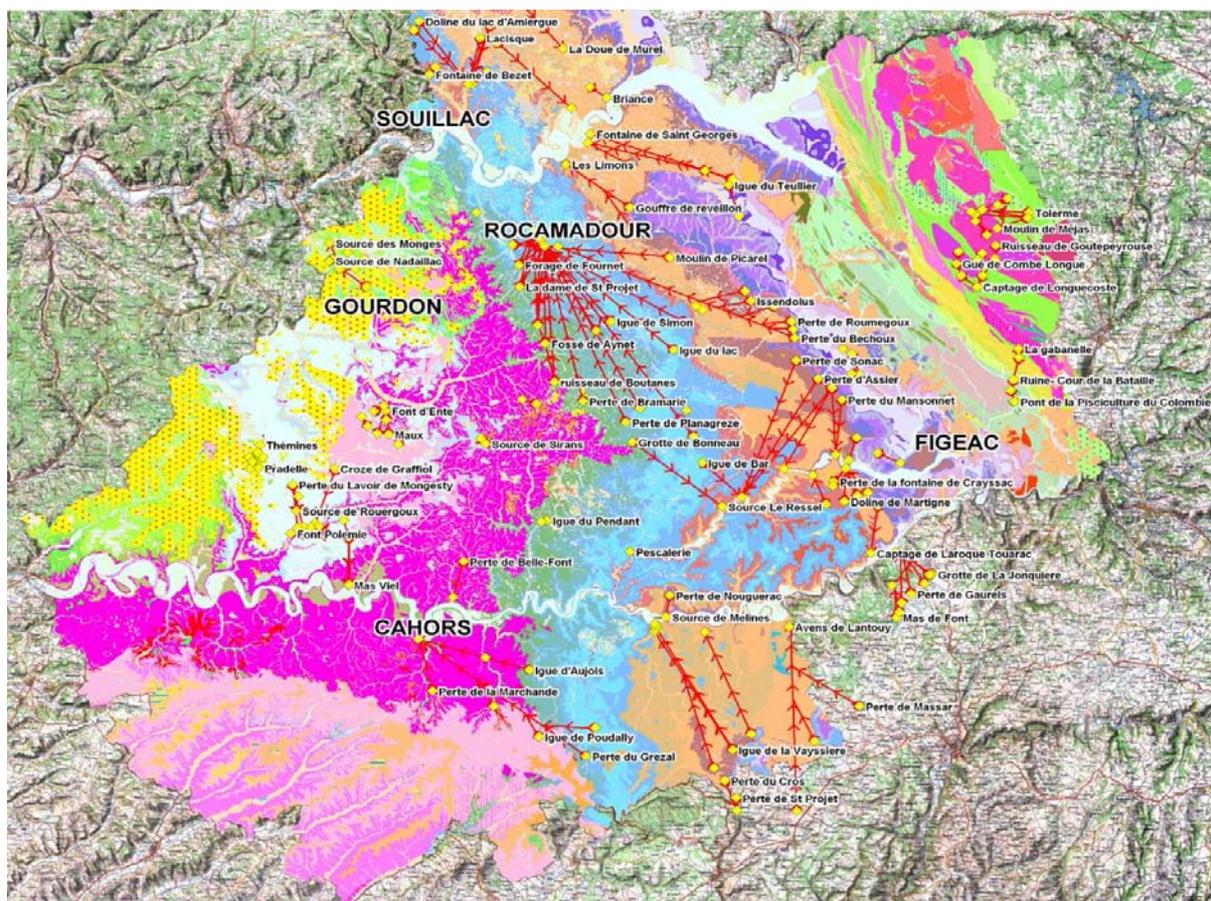


Illustration 2 – Carte des traçages en milieu karstique recensés sur le Lot

Cet outil doit permettre l'interprétation des données centralisées pour :

- améliorer la compréhension des systèmes karstiques et la protection de certaines zones,
- réaliser une carte des bassins d'alimentation des points d'eau en s'appuyant sur des connaissances actualisées,
- planifier des études sur des secteurs moins peu connus.

#### *La base de données sur les outils isotopiques « ISOLOT »*

Cette base de données a permis de collecter et centraliser 125 résultats d'analyses isotopiques sur le département du Lot, qui concernent 8 familles d'isotopes. Ces études concernent 13 sources karstiques et 8 pôles de référence (pluie, polluants etc).

Une note faisant le bilan de l'intérêt des outils isotopiques utilisés et un guide pour l'utilisation des isotopes ont également été rédigés.

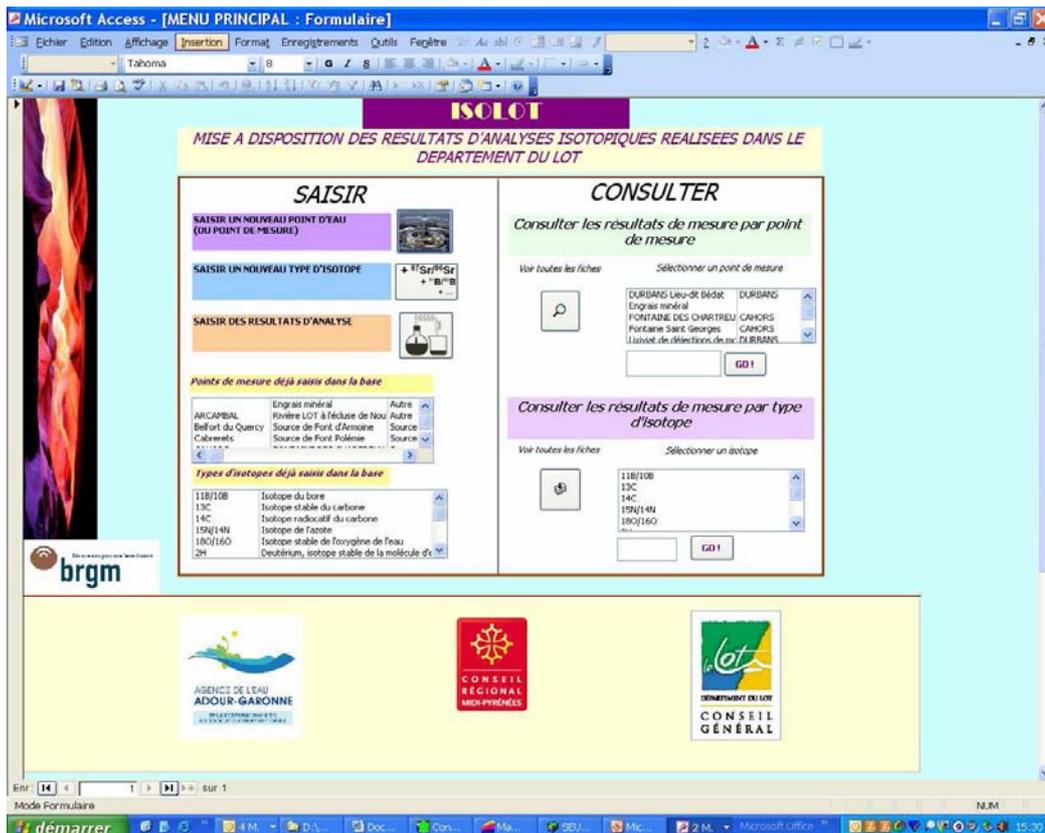


Illustration 3 – Menu d'accueil de la base de données sur les études isotopiques du département du Lot – « ISOLET »

### *Cartes lithologiques et hydrogéologiques du département du Lot*

Ces cartes ont été réalisées à partir de la carte géologique harmonisée à 1/50 000 du département du Lot, après synthèse et correction de la légende harmonisée et assemblage des objets polygones.

Pour la carte lithologique, 25 classes de faciès géologique homogène ont été créées. Cette carte a pour vocation de faciliter le travail des acteurs des géosciences dans les domaines de l'eau, de la géotechnique, de l'exploitation des matériaux etc., et offre également au public une meilleure compréhension de la géologie du département en valorisant le type de roche et non leur âge. Restituée à l'échelle 1/250 000, cette carte permet également d'avoir une vision claire et globale des types de formations affleurantes, tout en conservant la précision des contours géologiques à 1/50 000.

La carte hydrogéologique est un sous-produit de la carte lithologique, dans la mesure où elle permet de regrouper les formations de même lithologie ayant le même comportement vis à vis des eaux souterraines. Cette carte comprend 15 classes qui permettent de regrouper les différentes formations calcaires, et les formations argileuses afin de mettre en évidence les formations aquifères et leurs épontes. Dans la partie nord-est du département occupée par le socle, les formations ont été regroupées par rapport au comportement hydrogéologique de leurs formations superficielles. Cette carte a pour objectif de faciliter le repérage des formations potentiellement aquifères, des épontes etc, mais aussi de déduire le type de fonctionnement hydrogéologique (karst, milieu poreux, milieu fissuré). Comme pour la carte lithologique, l'échelle de restitution des travaux est le 1/125 000ème et l'échelle de travail le 1/50 000ème.

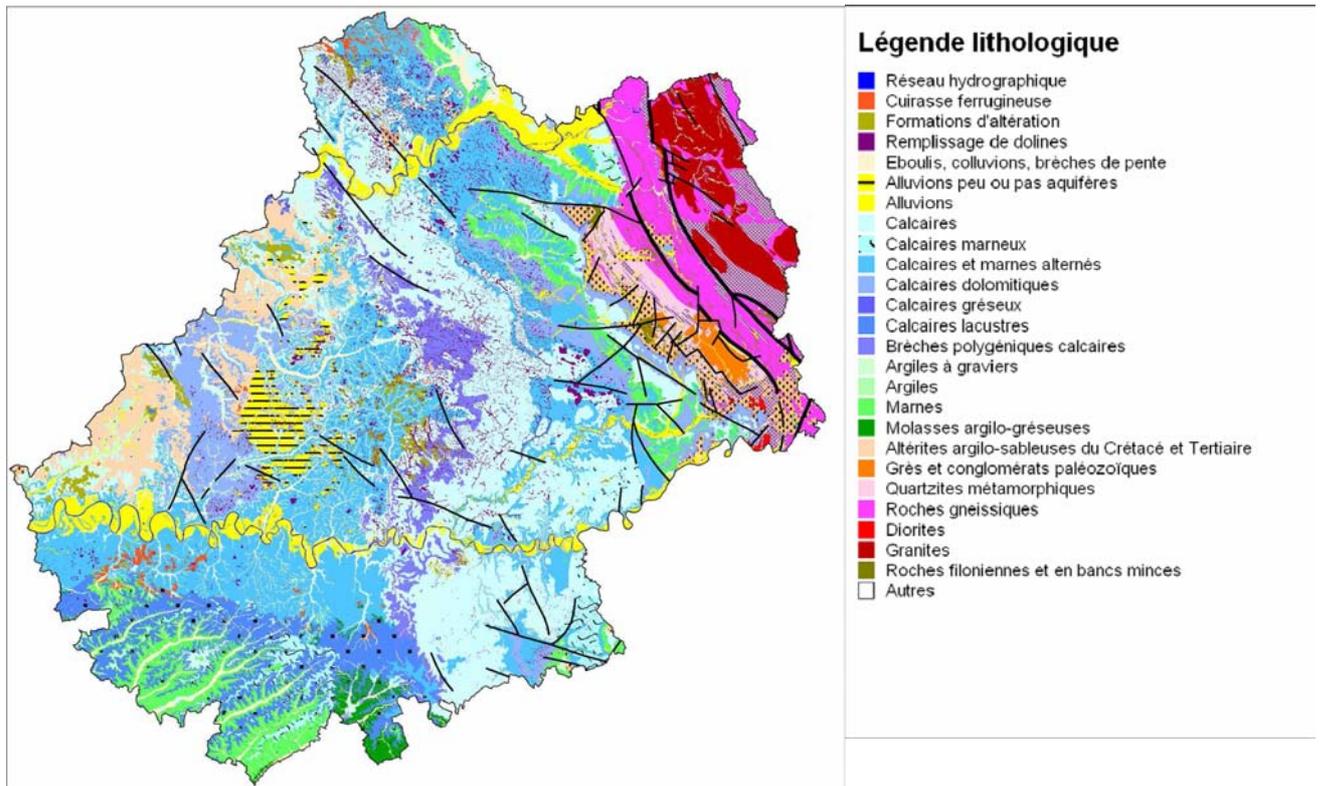


Illustration 4 – Carte lithologique du département du Lot

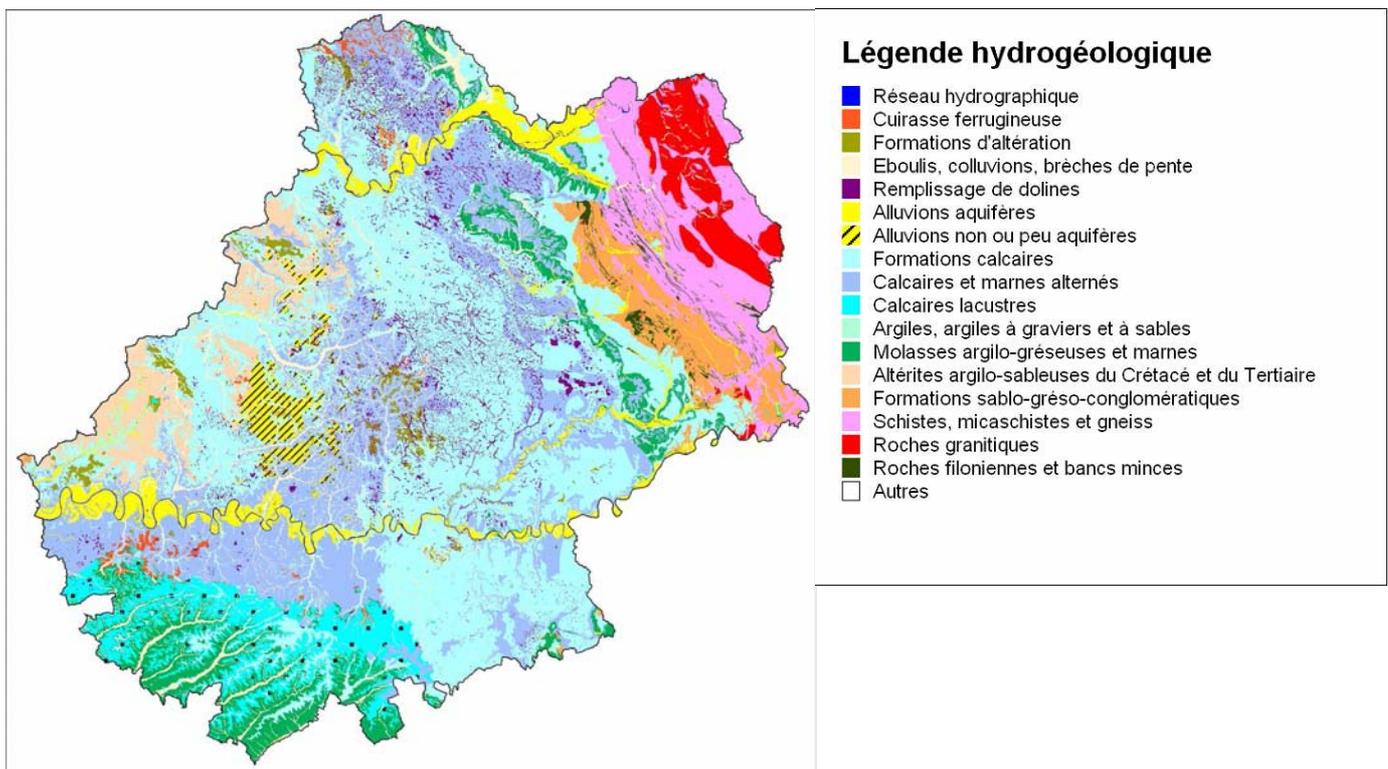


Illustration 5 – Carte hydrogéologique du département du Lot

### *Inventaire des cavités karstiques*

Cet inventaire est en cours de finalisation par le Comité Départemental de Spéléologie du Lot.

# PECH-MERLE

Jean-Guy Astruc, Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize.  
E-mail : jean.astruc@wanadoo.fr

## Un paléokarst

Découverte par André David et Henri Dutertre en 1922, la grotte du Pech-Merle occupe une place prépondérante dans le patrimoine archéologique de la France. L'Abbé Amédée Lemozi et André David vont explorer environ 1 km de galeries et découvrir et décrire la plupart des oeuvres pariétales que recèle la grotte. Les découvertes se sont succédé jusqu'en 1949 avec la découverte de la galerie du Combel. L'étude la Grotte se poursuit actuellement sous la direction de Michel Lorblanchet. En 1924 la grotte a été ouverte au public, le parcours aménagé a été prolongé en 1952 permettant la visite de l'étage supérieur (salle Rouge).

On accède à la grotte par un puits artificiel profond d'une douzaine de mètres. La visite de 600 m de galeries, confortablement aménagées, présente un intérêt majeur dans des domaines diversifiés ; à l'intérêt des oeuvres pariétales paléolithiques, s'ajoute une ornementation stalagmitique très riche : les colonnes massives côtoient les bouquets d'excentriques, les disques imbriqués sont uniques.

A proximité immédiate de la grotte, le musée Amédée Lemozi, présente des collections provenant de plus de 160 gisements préhistoriques lotois s'échelonnant du paléolithique inférieur à l'âge des métaux. Une salle est réservée à la présentation de l'art paléolithique.

## Les oeuvres pariétales

670 motifs peints ou gravés sur les parois du Pech-Merle sont répertoriés. Les représentations animales les plus fréquentes sont les mammoths et les bisons, auxquels s'ajoutent des chevaux, des aurochs, des cervidés, des bouquetins et 1 ours. On observe également un très grand nombre de signes (ponctuations, bâtonnets, etc.) et des mains négatives. L'ensemble des figures de la grotte s'échelonne du Périgordien final au début du Magdalénien (25 000 à 15 000 avant J.C.). Une datation récente au radiocarbone donne un âge de 24 600 B.P. pour la frise des chevaux pommelés (M. Lorblanchet, à paraître)

## Le paléokarst de Pech-Merle

La grotte, creusée dans des calcaires massifs oolithiques (formation de Rocamadour), est localisée sur la bordure méridionale du Causse de Gramat (terrains d'âge Jurassique moyen et supérieur).

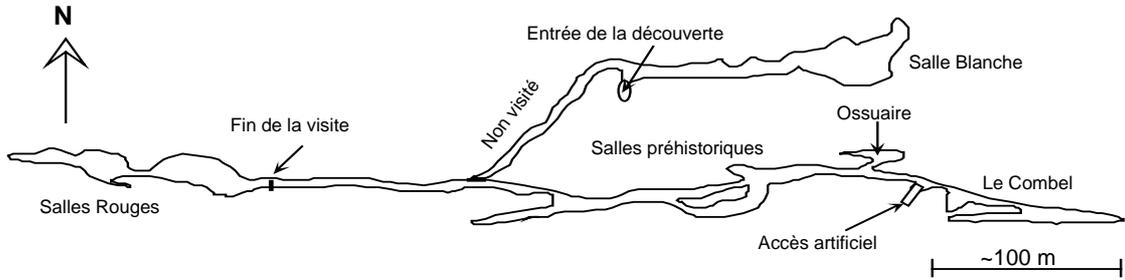
La grotte du Pech-Merle et les deux cavités voisines : l'igüe<sup>1</sup> Mathurin et la grotte Marcenac forment un vaste réseau souterrain ancien de 40 millions d'années. Ces cavités entièrement colmatées à la fin de l'Eocène ont eu une partie de leur remplissage vidangé par des fissures et véhiculé par de petites circulations d'eau sous-jacentes. Les vides ainsi créés, en décompressant les parois ont provoqué des éboulements internes (monolithes de la salle des chevaux dans Pech-Merle). Enfin, la cavité étant exondée, un concrétionnement de calcite a couvert partiellement les blocs basculés. Quand l'homme préhistorique a pénétré dans la grotte du Pech-Merle, il a trouvé sa morphologie identique, à quelques concrétions près, à ce qu'elle est aujourd'hui.

Les chevaux ponctués peints sur un panneau long de 4 m, ont été réalisés par les hommes du Paléolithique (Périgordien) il y a près de 25 000 ans. Le contour découpé de la roche évoquant la silhouette d'une tête de cheval, à droite sur le cliché, est une forme naturelle modelée par la dissolution du calcaire. Cette particularité a dû frapper l'imagination de l'homme préhistorique et lui a peut être suggéré cet emplacement pour réaliser le panneau des chevaux ponctués.

---

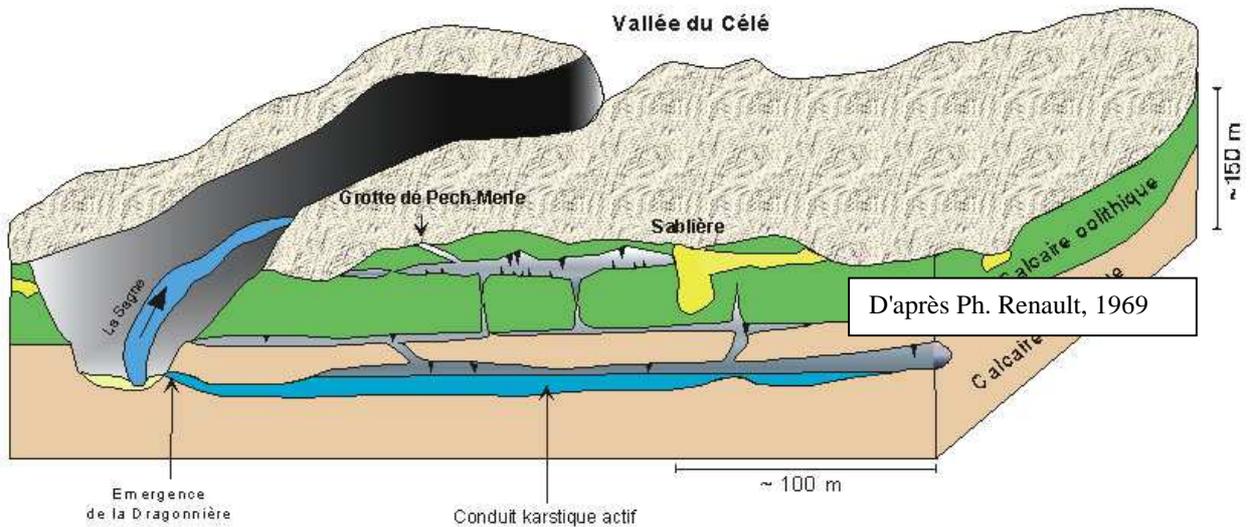
<sup>1</sup> Appellation locale de gouffre

PLAN DE LA GROTTÉ DE PECH-MERLE



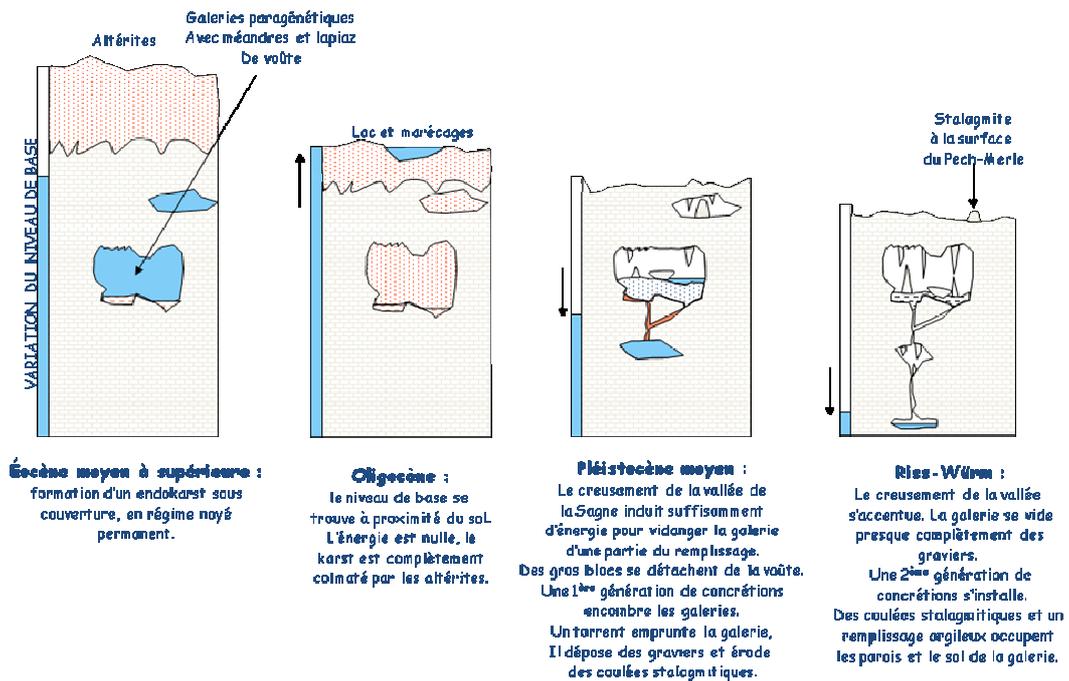
NORD-EST

SUD-OUEST



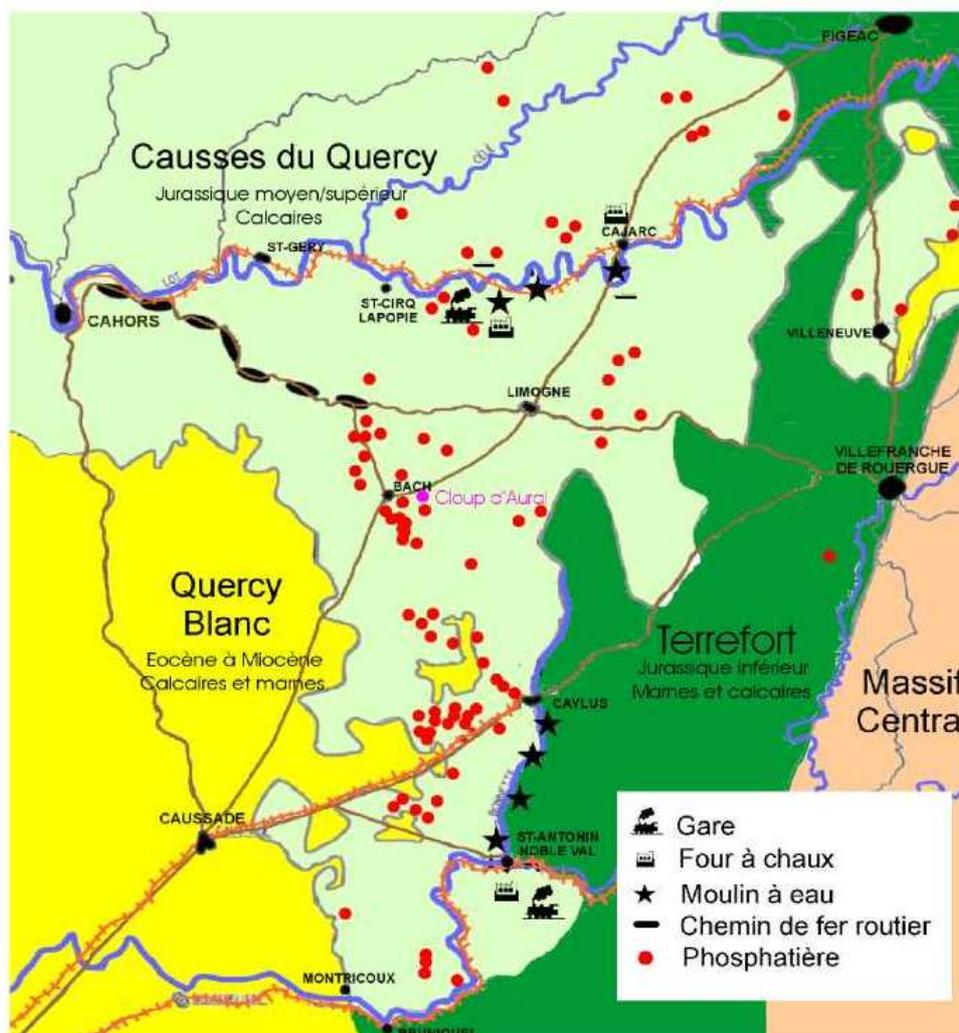
Le karst polyphasé de Pech-Merle

Essai de reconstitution de l'évolution d'une section de galerie



# Les phosphatières du Quercy : d'une exploitation minière au laboratoire naturel de l'évolution

Thierry Pélissié, géologue, Phosphatières du Cloup d'Aural - 46230 BACH - [www.phosphatieres.com](http://www.phosphatieres.com)  
[thierry\\_pelissie@wanadoo.fr](mailto:thierry_pelissie@wanadoo.fr)



## Carte de localisation des anciennes exploitations de phosphate du Quercy

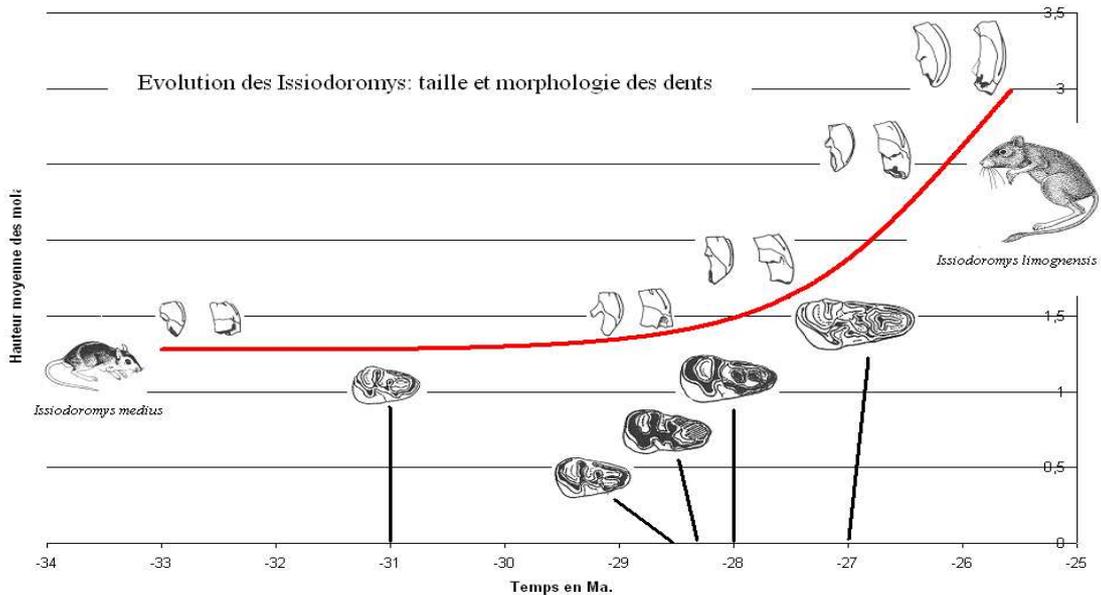
Après la fièvre du phosphate au XIX<sup>ème</sup> siècle (voir présentation des photos de E.Trutat par Francis Duranthon), Bernard Gèze a montré d'une part que chaque poche à phosphate contenait un remplissage paléontologiquement homogène et représentant donc un intervalle de temps court, d'autre part que deux poches voisines peuvent avoir des remplissages d'âges très différents.

Depuis les années 1960, les paléontologues s'intéressent :

- aux lignées évolutives et à la datation des gisements (de l'Eocène (-52Ma) au Miocène (-19Ma))
- à la succession des paléo-environnements sur cette même période
- aux modalités d'un événement biologique majeur : la Grande Coupure.

Le site du Cloup d'Aural à Bach (Lot) est aujourd'hui aménagé pour une valorisation pédagogique et touristique des aspects ethnoarchéologiques, géologiques et paléontologiques.

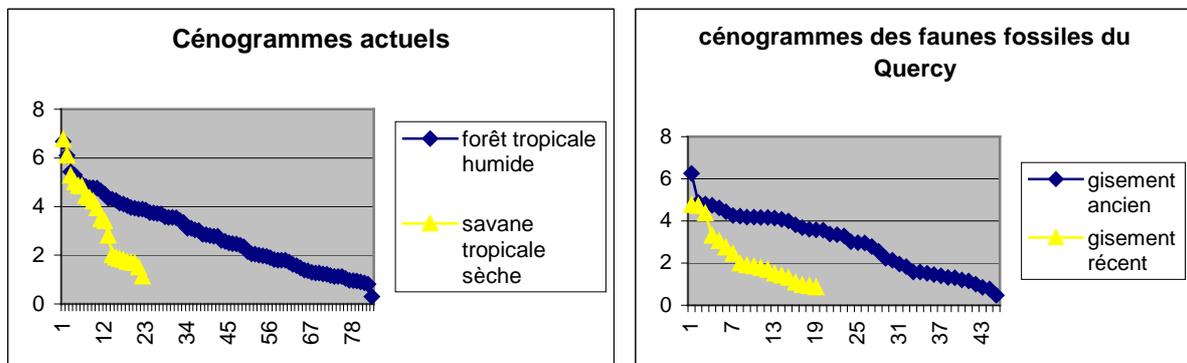
## Les lignées évolutives (d'après les travaux de Monique Vianey-Liaud)



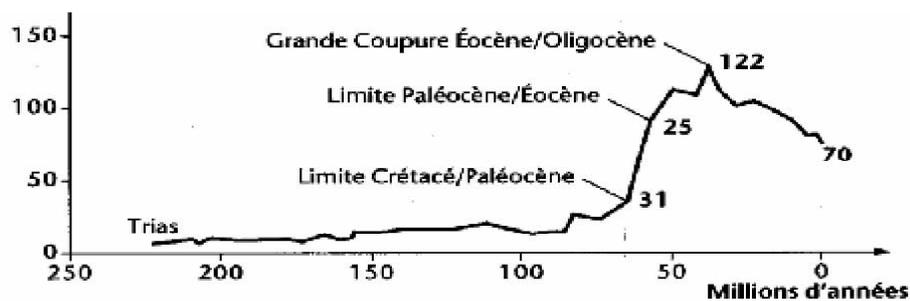
## La reconstitution des paléo-environnements grâce aux cénogrammes (d'après les travaux de Serge Legendre)

Comment construire un cénogramme ?

- Dans un milieu donné on réalise un inventaire de la faune
- On estime la masse moyenne de chacune des espèces recensées
- Sur l'axe des abscisses, on classe ces espèces de la plus lourde à la plus légère
- Sur l'axe des ordonnées on porte la masse moyenne sous forme de logarithme



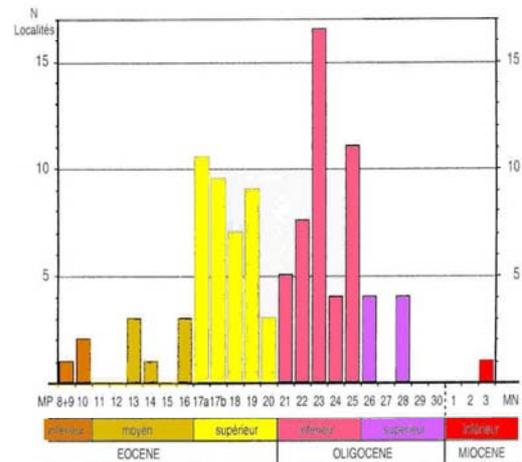
## La Grande Coupure (document Jean-Pierre Hartemberger)



# La datation des gisements (d'après les travaux de Serge Legendre)

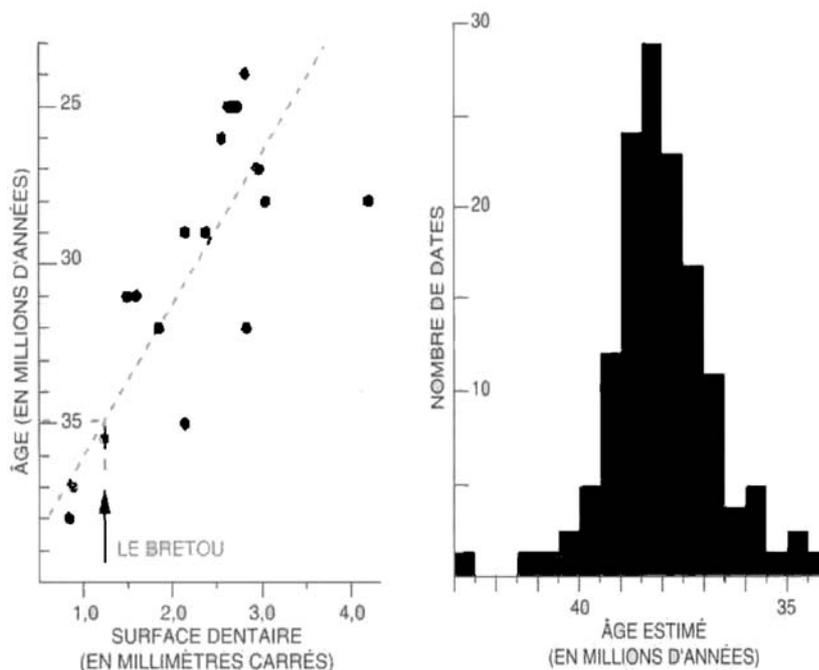
## Une datation relative

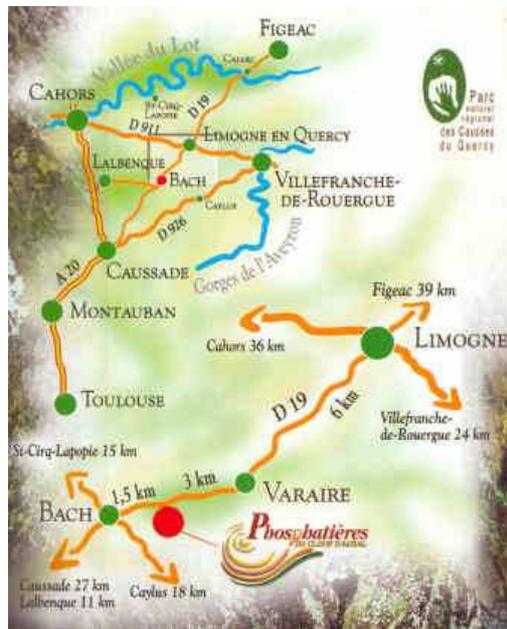
- définition de niveaux repères = gisements de référence
- positionnement de ces niveaux repères dans l'échelle biochronologique grâce aux fossiles index et aux degrés évolutifs
- entre ces bornes temporelles les niveaux repères sont arbitrairement répartis de façon homogène par rapport au temps
- les divers gisements sont rattachés à un niveau repère donné en fonction des degrés évolutifs.



## Vers une datation absolue : les bioâges

- pour chaque lignée et chaque type de dents on porte l'âge supposé
- on trace la droite moyenne
- on corrige l'âge du gisement étudié
- pour le gisement étudié, on répète l'opération et on obtient une distribution d'âges permettant le calcul d'un âge moyen et d'un intervalle d'incertitude
- l'âge obtenu ici repose sur 116 valeurs provenant de 28 lignées différentes
- résultat: 67% de chances que le Bretou soit âgé de 38,05Ma +/- 0,116Ma
- l'âge obtenu est confronté aux données de la magnétostratigraphie





# CONNAISSANCES HYDROGÉOLOGIQUES de la FONTAINE des CHARTREUX (CAHORS) et de son BASSIN d'ALIMENTATION

DDEA46 - Service d'Ingénierie d'Appui Territorial  
*Unité Hydrogéologie et Ressources en eau*  
Septembre 2008

## 1 – LES PRINCIPALES ÉTAPES :

### 1970 :

La mise en place de 2 limnigraphes (par André TARRISSE et Daniel PARDES) respectivement sur la vasque amont de la fontaine des Chartreux et sur la rivière Lot au bief Valentré, révèle que le plan d'eau de la fontaine Divona de CAHORS suit assez bien, en régime de basses eaux estivales, les fluctuations de la rivière Lot. Ceci traduit donc une liaison hydraulique évidente entre la source et son niveau de base local.

### 1973 :

La réalisation de nouveaux enregistrements précis –calés en N.G.F.– sur la vasque amont de la fontaine, les biefs Valentré et le bief Saint-Georges, permettent à Monsieur BARRÈRE, ingénieur hydraulicien à la DDA du Lot, de proposer un premier modèle d'estimation numérique des débits de fuites d'eau karstique en provenance de la fontaine directement et essentiellement dans le bief Valentré et non dans celui de Saint-Georges situé plus en amont.

### Années suivantes 1974-1975 :

- Les enregistreurs limnigraphiques se font de bien meilleure qualité, le modèle de débit proposé par Monsieur BARRÈRE s'affirme.
- L'examen détaillé des pompages réalisés par la ville de CAHORS, pour son approvisionnement en eau, révèle à Monsieur BARRÈRE, l'existence sur le conduit karstique adducteur d'eaux souterraines vers la fontaine des Chartreux, d'une cheminée d'équilibre majeur qui provoque, au démarrage et aux arrêts de pompage des oscillations hydrauliques.
- La mise en place d'un dispositif d'enregistrement limnigraphe avec un flotteur de gros volume «OTT» associé à un système d'amplificateur mécanique sur la fontaine Saint-Georges, la fontaine des Chartreux et sur le bief Valentré de la rivière Lot (R. GABORIAUX – D. PARDES – A. TARRISSE) destiné à obtenir des enregistrements graphiques plus précis, permet de démontrer et révéler qu'une relation manifeste existe bien entre la fontaine des Chartreux et la fontaine Saint-Georges située à CAHORS, en amont du pont Louis Philippe.

Les impulsions de pompage de la ville de CAHORS à 200l/s sont bien visibles à la source de Saint-Georges, toutefois les oscillations de début et de fin de pompage, très bien visibles à la fontaine Divona, sont fortement amorties à la fontaine Saint-Georges, ce qui traduit de fortes pertes de charge hydraulique entre le conduit principal des Chartreux et la fontaine Saint-Georges. Cette dernière véhiculerait vers la sortie, un léger débit en provenance du conduit principal de la fontaine des Chartreux.

Bien qu'en été, aucun débit apparent ne semble s'échapper de la fontaine des Chartreux, ces investigations limnigraphiques ont permis à Monsieur BARRÈRE d'affirmer, dès 1973, que la fontaine des Chartreux évacue directement dans le bief Valentré de la rivière Lot, un débit de fuite supérieur au m<sup>3</sup>/s.

Un simple calcul, en régime d'écoulement, de ce débit de fuite fait apparaître pour 0,40 m de charge entre la vasque amont et rabattement de 7 cm sous pompage AEP à 200 l/s pour un coefficient a = 2,78 :

$$Q_{\text{fuite}} \approx 2,78 \times 0,40 \approx \boxed{1,10 \text{ m}^3/\text{s}}$$

et en régime turbulent, avec  $Q_{\text{fuite}} = a \sqrt{H}$  :

$$Q_{\text{fuite}} \approx 2,78 \times \sqrt{0,4} \approx \boxed{1,760 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### Octobre 1978 :

Pompage de la fontaine des Chartreux à forts débits :  
200 l/s, 300 l/s, 500 l/s, 600 l/s, 800 l/s.

Les études limnigraphiques réalisées depuis 1973, sous la direction de Monsieur BARRÈRE, avaient mis en évidence que l'été, en fin d'étiage, la fontaine des Chartreux pouvait être alimentée par un débit avoisinant le m<sup>3</sup>/s.

En effet, sous une charge de 40 cm entre le niveau d'eau de la vasque amont de la fontaine et le plan d'eau de la rivière Lot au bief Valentré, pour un prélèvement AEP de 200 l/s on avait constaté un rabattement de la vasque amont n'excédant pas 7 cm.

Une simple règle de trois permettait d'espérer,

✓ en régime d'écoulement laminaire :

$$Q = CH$$

$$\text{Un débit d'alimentation de } Q_a = 0,200 \times \frac{40}{7}$$

soit 1,14 m<sup>3</sup>/s ou 1 140 l/s

soit  $Q_a = 0,40.C$  pour annuler la charge de la fontaine sur le Lot en période de très basses eaux.

✓ en régime turbulent : Régime privilégié par Monsieur BARRÈRE dès 1973 où  $Q_a = a.\sqrt{H}$

Il y avait lieu de préciser la valeur du coefficient de débit de fuite de la fontaine sous pompage et de le comparer à celui obtenu, dès 1973 par analyse limnigraphique, sur les débuts de descentes de pompage et fins de remontées de la ville de CAHORS à 200 l/s.

Cette opération de pompage à fort débit fut engagée en octobre 1978, avec comme objectif pratique, si ces approches théoriques se trouvaient bien vérifiées, de fournir de l'eau potable à l'espace rural environnant CAHORS, sans compromettre son développement économique futur.

Ces pompages réalisés à débits croissants de 200 à 800 l/s permirent d'affirmer la valeur du coefficient « a » de débit de fuite de la fontaine, ouvrant ainsi la voie à un suivi des débits journaliers de la fontaine des Chartreux, pendant plusieurs cycles hydrologiques et la réalisation de bilans pluie-débit.

Ces bilans hydrologiques annuels confrontés aux pluies annuelles déversées sur le bassin de la fontaine des Chartreux, faisaient apparaître, pour obtenir les écoulements calculés, une surface de réception de l'ordre de 500 km<sup>2</sup>.

Sur le plan géographique, compte tenu des premières données de traçages, du modelé topographique disponible au sud ouest de Cahors, tout en prenant compte les captures souterraines des vallées superficielles de la Valse et des vallées à écoulement temporaire du Tréboulou à l'est et de la vallée du ruisseau de Quercy au sud, nous ne pouvions disposer sur le plan spatial que d'environ 250 km<sup>2</sup>.

Pour le reste, il y avait lieu d'envisager une réalimentation aux limites du réservoir souterrain de la fontaine des Chartreux par la rivière Lot.

Par ailleurs, les prélèvements de qualité d'eau -effectués tous les mois par le S.R.A.E. Midi-Pyrénées- sur les fontaines cadurciennes (fontaine des Chartreux et fontaine Saint-Georges) ainsi que sur la rivière Lot, légèrement en amont de la fontaine Saint-Georges, faisaient apparaître une nette baisse de la conductivité électrique des eaux des sources karstiques, liée à une baisse substantielle des concentrations en Calcium et Bicarbonate en période d'étiage estival.

Ces baisses de minéralisation des eaux souterraines pouvaient donc être expliquées par des apports d'eaux moins minéralisées en provenance de la rivière Lot. Ainsi, le supplément de débit d'écoulement à la fontaine des Chartreux et la baisse de minéralisation pouvait être expliqués avec une certaine cohérence scientifique.

### *Etudes isotopiques des fontaines cadurciennes par <sup>18</sup>O :*

Plus tard, cette hypothèse sera confortée par les études de Laurent DANNEVILLE et en 1994, par un suivi isotopique de l'oxygène <sup>18</sup>O ayant impliqués Joël TREMOULET et Pierre FOURCASSIE en tant que « préleveurs manuels d'échantillons d'eau » et l'université d'Avignon, où ils étaient alors étudiants. La DDA étant promotrice et financeur unique de cette étude.

Ces études isotopiques <sup>18</sup>O des écoulements karstiques des fontaines cadurciennes Saint-Georges et Chartreux et de la rivière Lot, avaient pour but de préciser dans le temps la proportion de mélange eaux superficielles et eaux karstiques aux émissaires du bassin de la fontaine de Chartreux.

Après avoir vérifié qu'il existe entre les eaux de la rivière Lot et les eaux des fontaines cadurciennes un contraste isotopique <sup>18</sup>O suffisant, un pôle eau karstique a été recherché en utilisant des sources amont et aval où il est matériellement impossible de trouver des apports d'eau en provenance de la rivière Lot.

La source de Bellefont située sur la commune de Valroufié, au nord de la rivière Lot, bien en amont géographique de CAHORS, et la source de Saint Vincent Rives d'Olt placée en rive gauche, au sud de la rivière Lot, bien à l'ouest de CAHORS, proche de LUZECH furent retenues, a priori, pour constituer le « pôle karstique ».

Le « pôle rivière Lot » fut choisi au point de prélèvement des eaux de la rivière Lot, en aval du moulin de Coty à CAHORS, en amont de la fontaine Saint-Georges.

A l'usage, il s'avèrera que les évolutions temporelles de concentration en  $^{18}\text{O}$  aux stations de Valroufié et Saint Vincent Rives d'Olt étaient pratiquement superposables et que les valeurs obtenues aux fontaines cadurciennes se situaient entre ce « pôle karstique » fiable et le « pôle eaux du Lot ».

Il apparut également que la chronique Saint-Georges était plus influencée par des apports d'eau importants en provenance de la rivière Lot, que celle de la fontaine des Chartreux ne se rapprochant nettement de la chronique Lot, qu'en période d'étiage estival avancé. En période de hautes eaux, les écoulements de la fontaine des Chartreux présentent une teneur en  $^{18}\text{O}$  très proche des pôles karstiques amont (source de Valroufié) et aval (source de Saint Vincent Rives d'Olt).

Nous avons pu calculer –avec ou sans décalage de transit dans le réservoir souterrain de 1 mois– des proportions de mélange pouvant atteindre environ 45 % en période de fort étiage, pour revenir à des valeurs voisines de *zéro* en période de hautes eaux hivernales ou de printemps.

**RECHERCHE d'EAU**  
**dans la VALLÉE du TRÉBOULOU**  
**pour les BESOINS A. E. P.**  
**du SYNDICAT des EAUX de l'IFFERNET**

DDEA46 - Service d'Ingénierie d'Appui Territorial  
*Unité Hydrogéologie et Ressources en eau*  
Septembre 2008

Après les échecs de pompage, en matière de productivité AEP, à l'igie n° 3 d'Aujols, à l'initiative de Messieurs BARRÈRE et TARRISSE, un ensemble de sondages mécaniques carottés de 60 mètres de profondeur, furent entrepris entre le château d'Arcambal (au nord) et le lieu-dit « Pissepourcels-haut » commune de Flaujac-Poujols (au sud).

Les échantillons carottés de roche recueillis furent examinés géologiquement en détail, ainsi que les zones de micro-karstification observées au sein des formations calcaires.

Pendant un cycle hydrologique, les niveaux piézométriques de chacun des sondages furent suivis par la DDA et le SRAE Midi-Pyrénées.

Ces mesures mirent en évidence l'existence d'un creux piézométrique au niveau du piézomètre n° 6 au lieu-dit « le Gué ».

Des enregistrements continus de niveau d'eau, au pas de 6 mn, en ce point, permirent de constater que les pompages de la ville de CAHORS et les éclusées de la rivière Lot étaient parfaitement

visibles et décelables. Cette zone devait être en bonne connexion hydraulique avec l'une des conduites principales alimentant la fontaine des Chartreux à CAHORS.

Par ailleurs, le piézomètre « S 6 » se situait sur le « tombant » nord d'un pli géologique conique fortement marqué dans le paysage, en rive droite de la vallée temporaire du Tréboulou.

Le site du « Gué » pouvait être pressenti pour prélever, au voisinage de la conduite principale du Syndicat de l'Iffernet, des eaux souterraines directement dans le réservoir de l'aquifère des Chartreux, ceci grâce à la réalisation de forages, judicieusement implantés et suffisamment profonds, pour extraire entre 30 et 40 m<sup>3</sup>/h et fournir un débit global d'approvisionnement en eau de 120 m<sup>3</sup>/h avec plusieurs ouvrages.

Au niveau du site du « Gué » de multiples investigations géophysiques furent réalisées : sondages sismiques, électriques, électromagnétiques (techniques : Mélos, proposée par le BRGM d'Orléans, VLF et bien plus tard, vers les années 1989, panneaux électriques).

Il apparut que le cœur de la ride anticlinale du « Gué » présentait un noyau fortement conducteur qui, contrairement aux affirmations du début, s'avérera être lié à la présence de masses argileuses abondantes comme le révélera, par la suite, un forage d'identification réalisé au cœur même du pli anticlinal.

Sur le « tombant » nord du pli, à une certaine distance de l'axe, le premier sondage de reconnaissance subprofond, de 200 mètres de profondeur, devait révéler, qu'en dehors de l'axe du pli -fortement colmaté d'argile- la roche était peu fracturée : l'essentiel du débit venant sur des joints entre 100 et 180 mètres de profondeur. Des acidifications sous pression permirent de passer d'un débit initial de l'ouvrage de 12 m<sup>3</sup>/h à 40 m<sup>3</sup>/h après 4 acidifications. A ce débit d'exhaure, l'ouvrage devenait ici économiquement exploitable.

Un second ouvrage de reconnaissance fut par la suite effectué, entre le forage F1 et l'axe de l'anticlinal. Aux environs de 70-75 mètres de profondeur, de fortes arrivées d'eau furent recoupées, permettant de récupérer, sous une trentaine de mètres de rabattement, un débit voisin de 40 m<sup>3</sup>/h, ceci après quelques opérations d'acidification non pressurisées.

Toutefois s'étant rapproché de l'axe du pli anticlinal envahi d'argile, les débits solides n'étaient plus négligeables. Il fallut alors mettre en place un branchement électrique permanent sur pylône et pomper jour et nuit, pendant pratiquement un an, pour purger convenablement le réservoir souterrain, intercepter ses sédiments sableux argileux, et obtenir des sorties d'eau parfaitement claires le plus souvent.

Après ces « acharnements hydrogéologiques » le site du « Gué » pouvait donc être mis en exploitation pour les besoins AEP du Syndicat des Eaux de l'Iffernet, en prélevant directement dans le réservoir carbonaté alimentant la fontaine des Chartreux.

Plus tard, un troisième ouvrage sera implanté, toujours dans la vallée du Tréboulou, au sud du site initial du « Gué », en amont du cours temporaire du ruisseau du Tréboulou.

Cette fois, l'implantation du forage F3 sera guidée par la réalisation de panneaux électriques sur le « tombant » sud de la ride anticlinale du « Gué ». L'ouvrage sera également descendu jusqu'à 200 m de profondeur et les principales arrivées d'eau se manifesteront également vers 180 mètres sous le niveau du sol, comme pour le forage F1.

Après ces phases d'investigations vers les années 1990-1991, des forages d'exploitation de diamètre plus important Ø 315 mm seront forés et tubés, avec cimentation de tête sur les 10 premiers mètres pour certains. Ces ouvrages seront mis en production jusqu'à nos jours. Une station de pompage sera donc créée.

Par la suite, pour se soustraire aux aléas des pics de turbidité, un équipement de filtration membranaire sera mis en place.

Actuellement cette station, ainsi équipée, donne entière satisfaction au Syndicat des Eaux de l'Iffernet.

Avec l'arrivée de l'autoroute A20, susceptible de traverser le champ captant du « Gué » dans la vallée du Tréboulou, de nouvelles investigations hydrogéologiques furent conduites.

Un certain nombre de traçages hydrologiques, réalisés sous pompages continus et prolongés (de jour comme de nuit), à un débit de 120 m<sup>3</sup>/h pendant plus d'un mois, permirent de préciser l'extension géographique de l'aire d'appel du champ captant du « Gué » vers le cours amont du Tréboulou, au sud et vers le nord, en direction du bourg d'Arcambal.

Suite à la suppression par la Société A.S.F. d'un certain nombre de piézomètres destinés à surveiller le champ captant du « Gué » pour mettre en place son emprise autoroutière, les nouveaux piézomètres furent foncés sur les bordures nord et sud de la combe sèche de Flaujac-Poujols.

Si le piézomètre le plus amont, foré jusqu'à 200 mètres de profondeur, apparut peu productif en eau, en revanche les piézomètres Pz4 et Pz6 et surtout Pz5 s'avèrent fortement productifs en eau au soufflage. Certains d'entre eux Pz5 et Pz4 recoupèrent même des cavités karstiques avec chute franche d'outils sur plusieurs mètres.

Plus tard, le Pz5 fut transformé, après pompage d'essai, en forage d'exploitation susceptible, sans acidification, de fournir 200 m<sup>3</sup>/h sous 1 mètre de rabattement seulement. Alors que :

- ⇒ le forage d'exploitation F1 ne permet de prélever que 40 m<sup>3</sup>/h sous 60 mètres de rabattement stabilisé,
- ⇒ le forage F2 : 40 m<sup>3</sup>/h sous 30 mètres de rabattement stabilisé,
- ⇒ le forage F3 : 40 m<sup>3</sup>/h sous 15 mètres de rabattement stabilisé.

Evidemment ces essais ont été réalisés en période d'extrême étiage estival.

En 2004, dans le cadre d'un rapport d'étude de Master 2P, Mademoiselle Claire COMBEBIAC, précisera également que les ouvrages P1, P2, P3 et Pz5, non encore transformés en ouvrages d'exploitation, ne présentent pas d'interférence entre eux sous pompage simultané (P1 + P2 + P3 = 120 m<sup>3</sup>/h).

A l'opposé, les enregistrements limnigraphiques précis et bien calés, mettront en évidence que les nouveaux piézomètres Pz4, Pz5, Pz6 sont bien connectés avec le drain principal alimentant la fontaine des Chartreux. Eclusées du Lot et pompages de la ville Cahors sont bien visibles sur les enregistrements numériques acquis sur ces trois nouveaux sites.

Lors des tests de pompage effectués sur le Pz5, qui deviendra plus tard le puits d'exploitation n° 4, il était apparu une nette baisse de plus de 100 µS/cm de la conductivité électrique des eaux prélevées sous pompage prolongé de plusieurs jours.

Il a donc été conclu que le piézomètre Pz5, se place au voisinage d'un drain assez bien connecté à l'amont avec des arrivées d'eau en provenance de la rivière Lot et se dirigeant en aval vers la fontaine des Chartreux, ce qui expliquerait les forts débits d'alimentation souterrains de cet ouvrage. De nos jours un certain nombre d'investigations restent à mettre en place sur le plan « qualité » pour préciser ce point.

Une mise en exploitation légale de ce point d'eau est à réaliser au plus vite, pour pouvoir simuler -en vraie grandeur, avec des traceurs hydrologiques- une contamination des ouvrages amont par l'autoroute, toujours possible, malgré les précautions multiples prises par la Société A.S.F. avec mise en place : de bassins multifonctions, de G.B.A. (glissières béton armé), d'étanchéité totale de l'emprise autoroutière et en particulier des bandes de roulement et d'un réseau pluvial de collecte.

En matière de protection de l'environnement, au niveau autoroute, un traçage de tous les rejets des bassins multifonctions, reste encore à réaliser, ceci sous pompage prolongé du champ captant du « Gué » à un débit de 180 m<sup>3</sup>/h.

## **GÉOLOGIE du BASSIN d'ALIMENTATION de la FONTAINE des CHARTREUX (CAHORS-LOT)**

DDEA 46 - Service d'Ingénierie d'Appui Territorial  
*Unité Hydrogéologie et Ressources en eau*  
Septembre 2008

Sur le plan géologique, en 1982, Monsieur Thierry PELISSIÉ, par sa thèse va nous apporter de précieuses informations :

- 1- sur la stratigraphie détaillée des formations jurassiques de la bordure nord du causse de Limogne,
- 2- sur le plan tectonique, des cartographies des principales fractures, qui seront un outil important pour visualiser les principaux axes de discontinuité des formations carbonatées des causses de Limogne et des causses du Quercy en général. De nombreux niveaux de brèches synsédimentaires seront découverts dans les formations du Lias et du Dogger essentiellement.

Par la suite, Monsieur Jean Guy ASTRUC, nous dotera d'une excellente carte géologique de CAHORS au 1/50 000<sup>ème</sup> et des régions avoisinantes, après avoir réalisé en priorité celle du Quercy Blanc.

Plus tard, en 2005, Messieurs Alain MANGIN (du C.N.R.S. de Moulis - 09) et Johan HOAREAU de l'université PARIS VI, avec l'étude des « chemins de drainage » nous préciseront l'orientation des fracturations ouvertes susceptibles d'être empruntées par l'eau dans son cheminement souterrain, ceci à partir de la mesure de tectoglyphes (veines, failles et stylolithes).

## ETUDES et TRAVAUX RÉALISÉS sur l'IGUE d'AUJOLS

DDEA46 - Service d'Ingénierie d'Appui Territorial  
*Unité Hydrogéologie et Ressources en eau*  
Septembre 2008

Les igues d'Aujols, au nombre de trois, sont des avens d'effondrement de fort diamètre. Elles se situent à quelques kilomètres au sud-est du bourg d'Arcambal, sur la commune d'Aujols, au flanc sud de la combe sèche de la « Valse ».

Edouard Alfred MARTEL voyait dans les igues d'Aujols, les anciennes sorties d'eau de la fontaine des Chartreux de CAHORS.

Après avoir :

- 3- démontré les relations hydrauliques entre la fontaine des Chartreux et la fontaine Saint-Georges, en amont du pont Louis Philippe qui enjambe le Lot, à CAHORS,
- 4- estimé que la fontaine Divona était en mesure de présenter en étiage des débits avoisinant le  $m^3/s$ ,

pour des raisons pratiques, en vue de sécuriser l'approvisionnement en eau du Syndicat AEP des Eaux de l'Iffernet grandissant et uniquement alimenté, à cette époque, par la source karstique de l'Iffernet située sur la commune d'Esclauzels, en amont du bourg de Saint-Géry, en rive droite de la rivière LOT ; il a été envisagé de s'intéresser au plan d'eau qui envahit le fond de l'igue inférieure d'Aujols, en amont du bourg d'Arcambal et distant de 7 km en ligne droite de la fontaine des Chartreux.

Dès les années 1974-1975, un limnigraphe a été mis en place au bas de l'igue d'Aujols. Un nivellement NGF de ce plan d'eau a été réalisé à deux reprises pour bien caler les enregistrements limnigraphiques avec une précision nettement inférieure au *cm*.

Ces enregistrements mettront en évidence les faits suivants :

- 1- en régime de fortes et moyennes eaux de la fontaine, les éclusées du LOT, ainsi que les pompages de la ville de CAHORS, à 200 l/s, sont nettement visibles.
- 2- en période de basses et très basses eaux estivales de la fontaine des Chartreux, seules les éclusées du LOT sont encore visibles : les pompages AEP de la ville de CAHORS ne sont pas perceptibles. Des « effets seuils » doivent compartimenter, lors de ces périodes, les transmissions hydrauliques entre la fontaine cadurcienne et le plan d'eau de l'igue d'Aujols.

Début août 1975, un pompage du plan d'eau installé au bas de l'igue inférieure n° 3 d'Aujols, sera entrepris à un débit de  $110 m^3/h$ . Les rejets d'eau de pompage se feront à 300 mètres au nord-ouest de l'igue dans la combe sèche de la « Valse ». Au bout de quelques jours de prélèvements, il apparut que le plan d'eau n'était alimenté, de façon constante, qu'à un débit de 13 l/s. Les rabattements acquis au fil du temps –à un débit de pompage supérieur au débit d'alimentation– ne faisaient que

confirmer la réalisation de prélèvements d'eau sur une réserve locale bien individualisée et bien quantifiable par mètre ou demi-mètre de niveau abaissé.

Compte tenu de la faible distance du rejet d'exhaure, afin de vérifier si un retour d'infiltration ne venait réalimenter secondairement la zone de prélèvement d'eau souterraine, une coloration des eaux du rejet d'exhaure, à l'aide de 10 kg de fluorescéine, fut réalisée le 13 août 1975. Il faut savoir qu'à l'époque, nous n'avions accès à aucune technologie de dosage des traceurs fluorescents.

Au bas de l'igle d'Aujols, au niveau du lac où était installée la pompe de prélèvement d'eau - maintenue suspendue en subsurface sur flotteur - aucune couleur verte ne fut décelée quelques jours après l'injection : les pompages s'étant toujours poursuivis avec un débit de prélèvement de 110 m<sup>3</sup>/h.

En surface et en aval du point de rejet, effectué à même le sol, le plan d'eau temporaire qui s'était constitué depuis le début du pompage était fortement coloré en vert le 13 août 1975 en fin d'après midi.

Au terme de l'essai de pompage de l'igle d'Aujols, une surveillance régulière des eaux de la fontaine des Chartreux s'organisa à vue (en utilisant au maximum l'épaisseur d'eau existante à la fontaine et en mettant en place – OUI ! – des fluocapteurs : technique américaine très pratique, introduite en France grâce à Henri PALOC du B.R.G.M.).

Vers fin septembre 1975, les eaux apparurent nettement vertes à la fontaine des Chartreux. Les fluocapteurs, bien séchés, réagissaient parfaitement à la solution alcoolique de potasse et la couleur vert fluo était nettement visible entre les grains de charbon actif noir dans les tubes à essais.

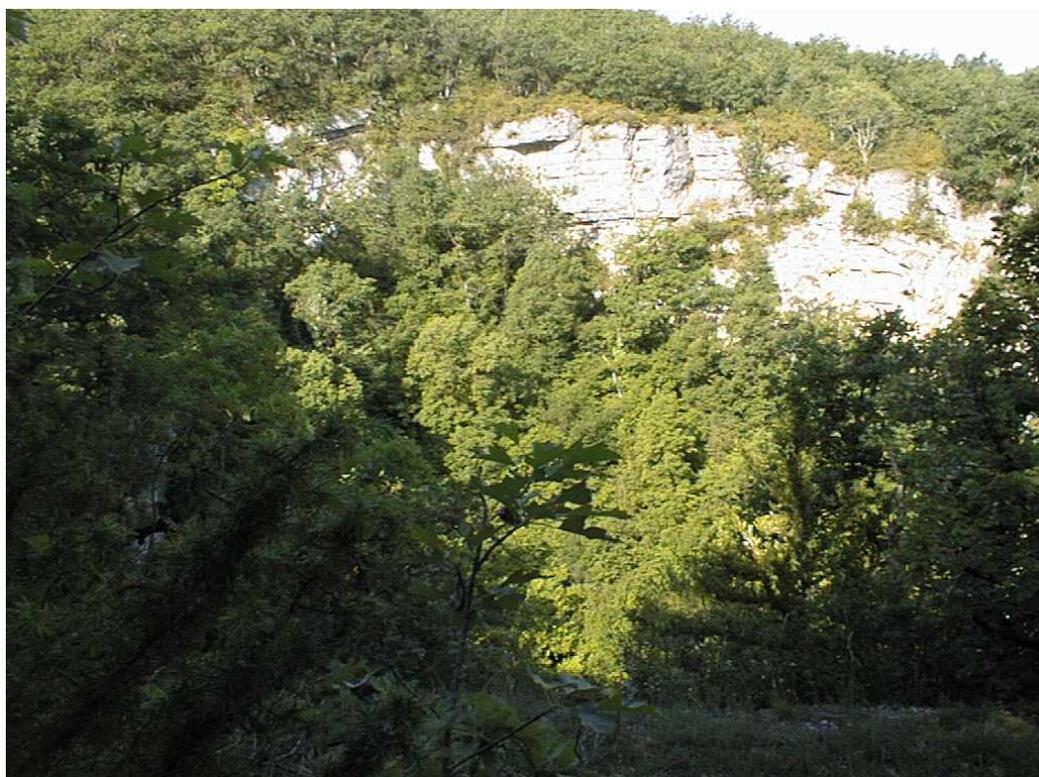
Ce repérage qu'aujourd'hui nous aurions tendance à qualifier de « rustique » permit de suivre la restitution du traceur sur près d'une semaine.

Nous venions, pour la première fois, de réussir dans le département du LOT le premier traçage artificiel en déversant des eaux à même le sol, sans confection de quelconques bassins d'infiltration qui nous rendront bien service dans les années qui suivirent et jusqu'à nos jours encore (en attendant que des bureaux d'études innovants trouvent beaucoup mieux pour les opérations de traçage hors des zones de pertes pérennes ou temporaires).

Parallèlement, il est évident que cette opération de coloration réalisée, certes avec un colorant puissant : la fluorescéine, mettait par ailleurs en évidence, en Quercy Lotois, une assez forte vulnérabilité des espaces karstiques en général, hors des zones de pertes pérennes ou temporaires, superficielles et des écoulements souterrains.

### Conclusion :

A un débit de prélèvement uniquement de 13 l/s et d'un point de vue pratique, le pompage de l'igle d'Aujols n'a pas répondu aux attentes du Syndicat des Eaux de l'Iffernet dont l'objectif était de l'ordre de 120 m<sup>3</sup>/h. Il fallait donc aller chercher de nouvelles ressources, ailleurs sur le bassin présumé de la fontaine des Chartreux. La vallée du Tréboulou fut donc retenue pour ce nouvel objectif.



**Les igues d'Aujol**

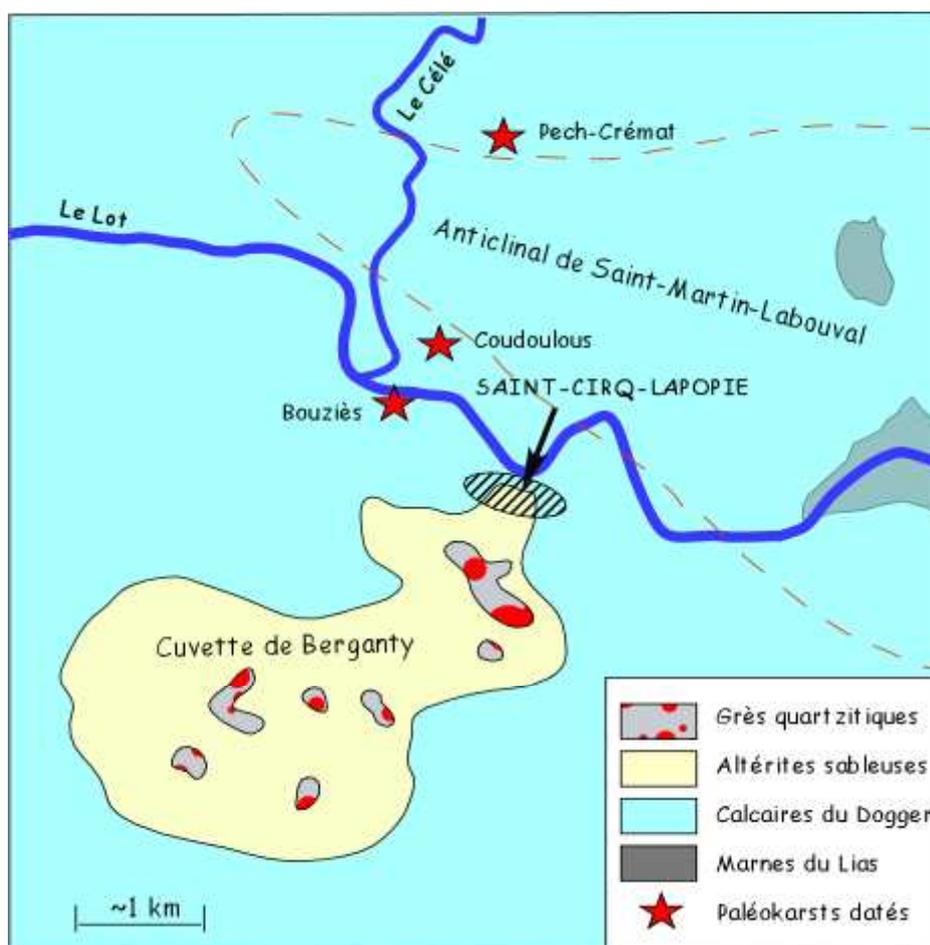
# Saint-Cirq-Lapopie

Jean-Guy Astruc, Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize.  
E-mail : [jean.astruc@wanadoo.fr](mailto:jean.astruc@wanadoo.fr)

L'environnement de Saint-Cirq-Lapopie est particulièrement riche en curiosités géologiques, ainsi dans un rayon de quelques kilomètres, autour du confluent Lot-Célé, on rencontre des sites exceptionnels :

- ❑ des cavités paléokarstiques renfermant des faunes datées du tertiaire, à Bouziès et à Pech-Crémat ;
- ❑ les cavités de Coudoulous, celles-ci ont livré des faunes et des traces d'occupation humaine datées de près de 350 000 ans, elles comptent parmi les plus anciennes rencontrées en France ;
- ❑ la curieuse "cuvette de Berganty" creusée dans les calcaires jurassiques du causse de Limogne. Elle renferme des paléosols argilo-siliceux colmatant entièrement de gigantesques cavités. Aux alentours de Berganty des amoncellements de blocs de grès quartzitiques ont été utilisés pour la fabrication de meules de moulin.

Fig. 1 - CADRE GEOLOGIQUE DES ENVIRONS DE SAINT-CIRQ-LAPOPIE



## HISTOIRE GÉOLOGIQUE

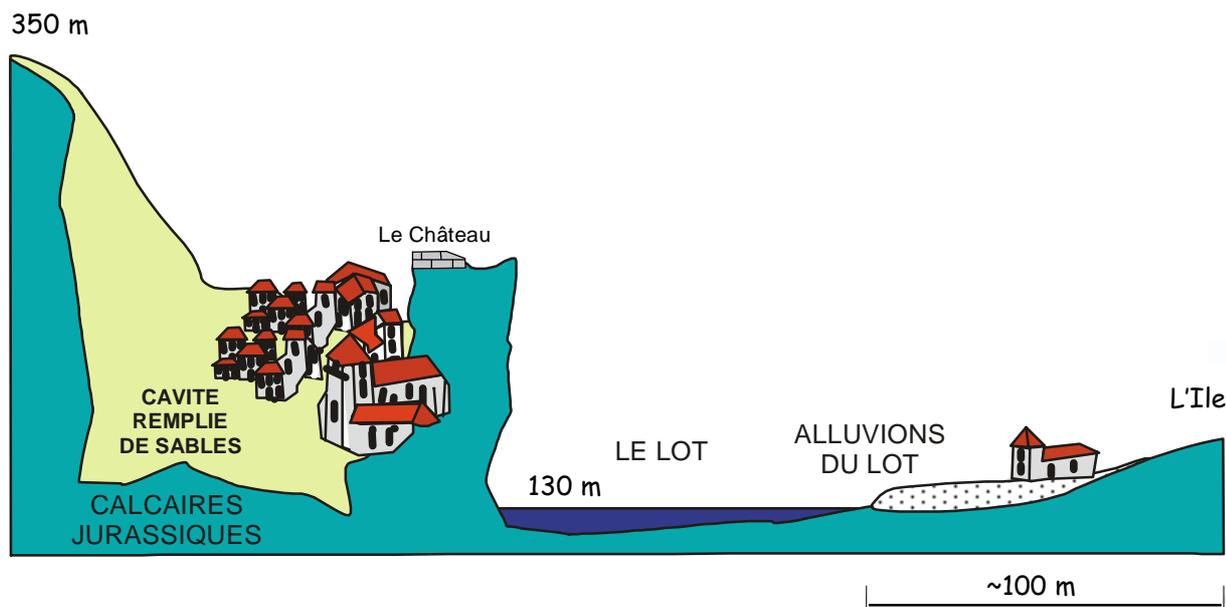


Fig. 2 - COUPE SCHEMATIQUE DE LA VALLEE DU LOT À SAINT-CIRQ-LAPOPIE

Des conditions géomorphologiques très précises sont à l'origine de l'installation au Moyen Âge du village fortifié, considéré aujourd'hui comme l'un des plus beaux sites de France.

Le sous-sol du quartier de Saint-Cirq, compris entre la colline et le rocher supportant l'église et les ruines du château, est constitué par des sables argileux renfermant une nappe d'eau. Ce réservoir aquifère était exploité par les anciens habitants de Saint-Cirq, par des puits creusés à l'intérieur des caves.

À Saint-Cirq-Lapopie, 3 grandes étapes ont façonné le paysage :

Il y a plus de 160 MA, la mer jurassique a déposé des sédiments calcaires formant tout le substratum du paysage, depuis le causse de Saint-Cirq jusqu'au lit du Lot.

Aux environs de – 50 MA, au Tertiaire, des sables argileux ont comblé complètement une très vaste cavité qui s'étendait du causse de Saint-Cirq peut être jusqu'au niveau du Lot.

Cette cavité appartient à l'ensemble de la "cuvette de Bergant", les remplissages sont identiques.

Depuis 5 à 6 MA, de la fin du Tertiaire au Quaternaire, le Lot, en creusant sa vallée, a déblayé ces sables créant le replat supportant le village et séparant ainsi du causse le piton rocheux du château.

### POUR EN SAVOIR PLUS

ASTRUC J. G. (1988) - Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Document du B.R.G.M. n°133, 135 p.

ASTRUC J. G. (1992) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint-Géry (857). Orléans : BRGM, environ 60 p. Carte géologique par ASTRUC J.G. (1992).

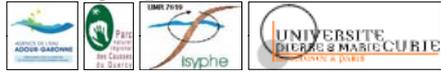
ASTRUC J. G. et R. SIMON-COINCON (1992) - Enregistrement de l'évolution climatique et tectonique par les paléokarsts (exemple du Quercy et de ses marges). In " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 497-508.

CAVILLE A. (1974) - La région des phosphorites du Quercy. *Paleovertebrata*, vol.6, pp. 5-19.

RENAULT Ph., SIMON-COINCON R. et ASTRUC J. G. (1992) - Problèmes des Causses du Quercy. In " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 469-496.

SIMON-COINCON R., ASTRUC J. G. (1991) - Les pièges karstiques en Quercy : rôle et signification dans l'évolution des paysages. Bull. Soc. géol. France, t.162, n°3, pp. 595-605.

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



D. Kavouri<sup>1,2</sup>, J. Pranville<sup>1</sup>, J. Trémoulet<sup>2</sup>, V. Plagnes<sup>1</sup>, F. Rejiba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, (UMR 7619 Sisyphé)

<sup>2</sup> 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).

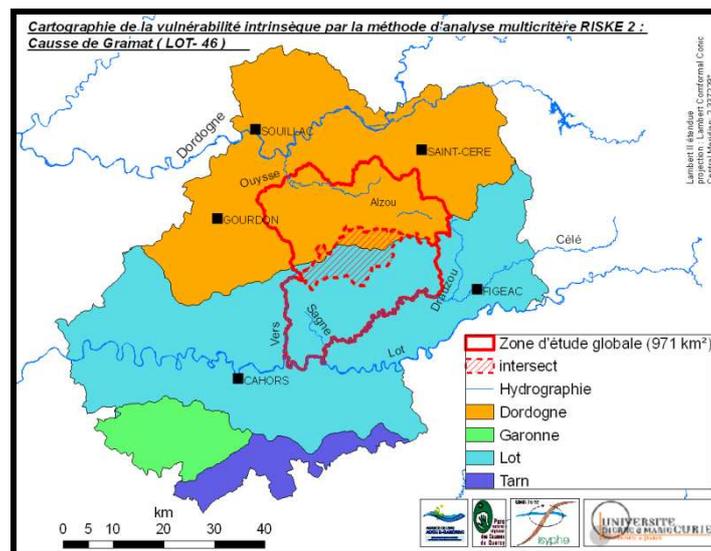


Figure 1 - Contexte de la cartographie de la vulnérabilité du Causse de Gramat

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 ; Dörfli 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).

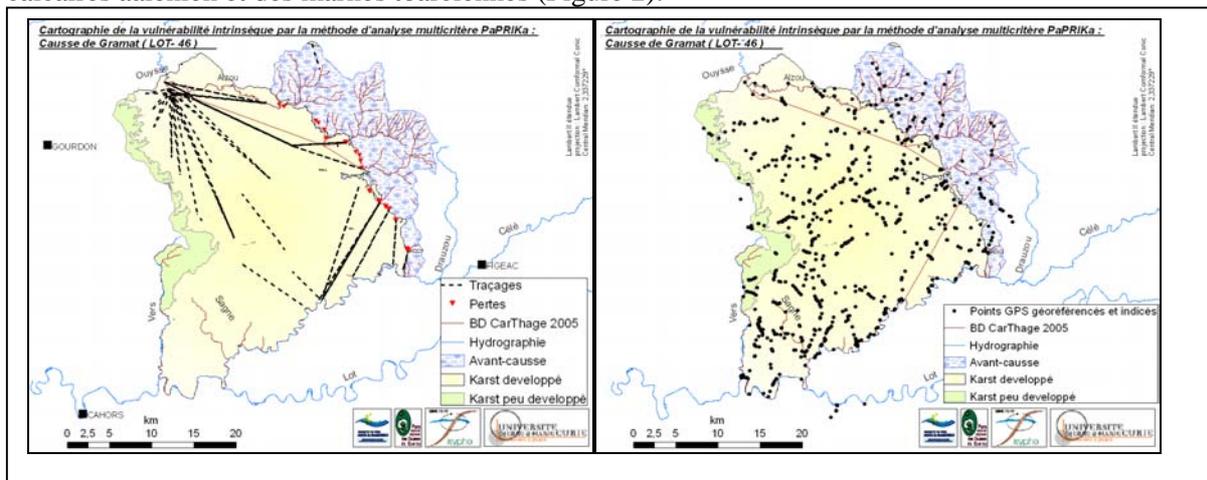


Figure 2 - Hydrogéologie simplifiée de la zone d'étude et distribution des points d'acquisition géoréférencés

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

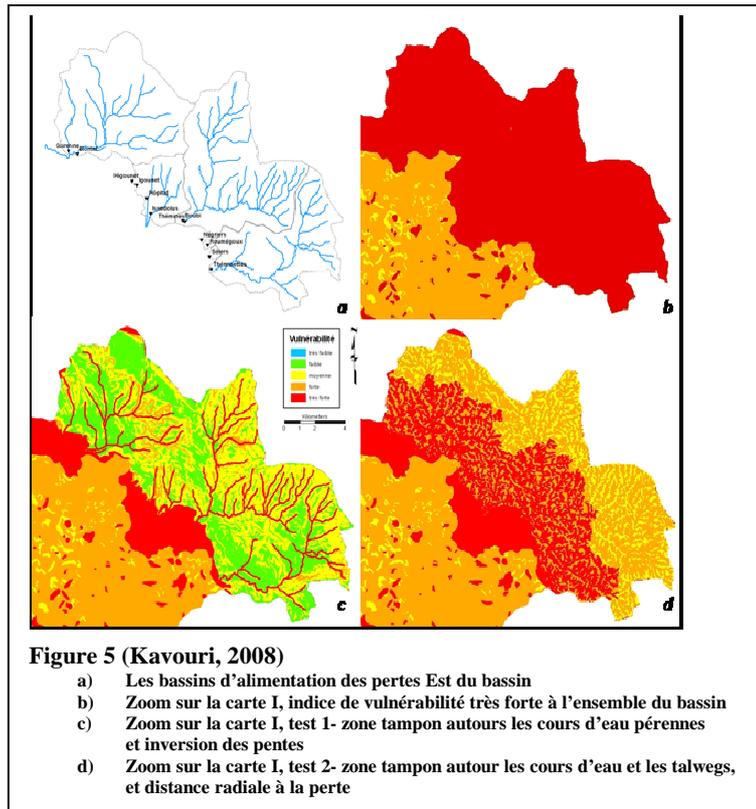
proximité immédiate et pour les cours d'eau et les talwegs de la zone de proximité secondaire et moyenne avec  $I_2$  pour le reste de cette zone.



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.

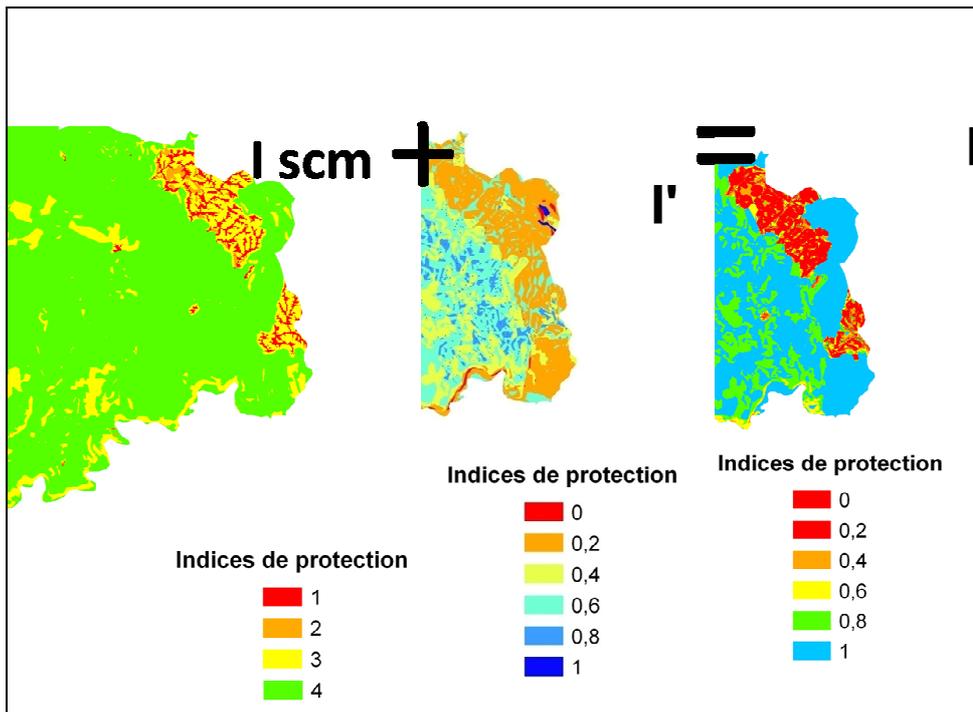


Figure 7 - Etape de construction de la carte I de la méthode PI

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).

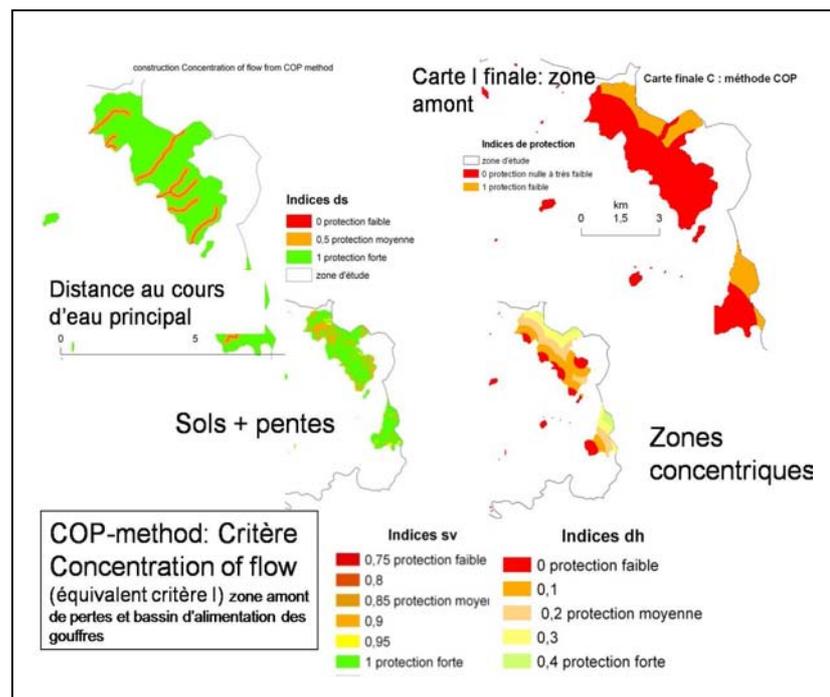


Figure 8 - Exemples d'interprétation de la zone amont des pertes par la méthode COP

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.

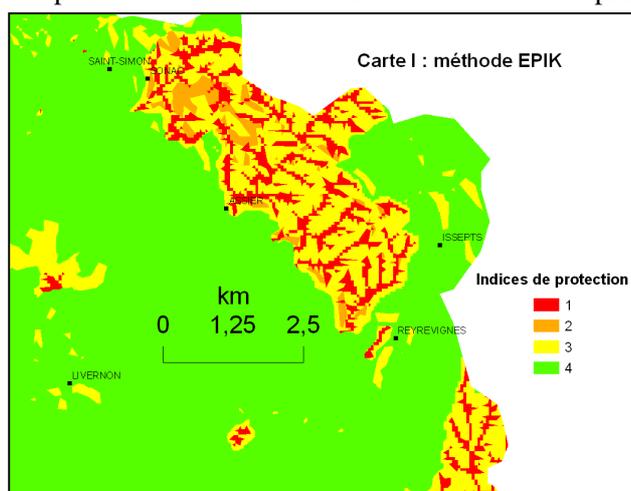


Figure 9 - Carte I de la méthode EPIK

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'alimentation des pertes qui jonchent la bordure du Causse de Gramat. Effectivement, les eaux de ruissellement sont drainées vers la ressource via les pertes.

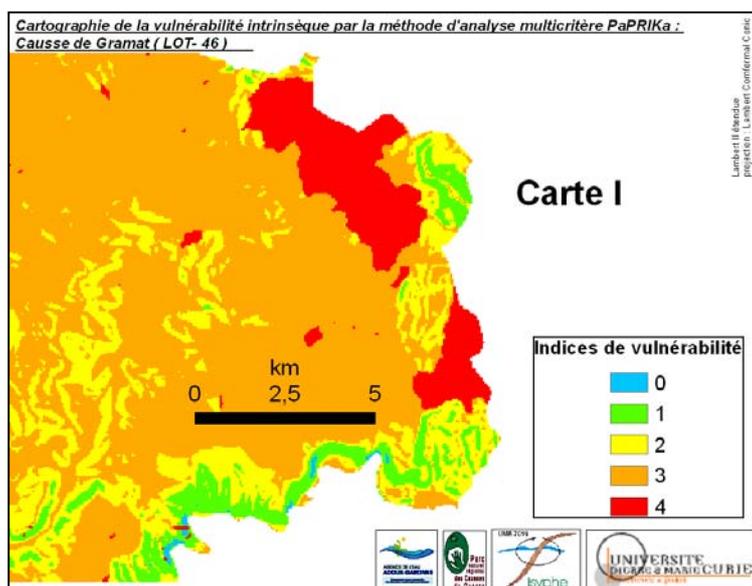


Figure 10 - Carte de vulnérabilité du critère I sur la zone amont avec la méthode PaPRIKa

## 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<sup>ème</sup>), 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



# La couverture crétacée, son extension, sa transformation et son ablation. Environnements de dépôts et paléogéographie.

Jean-Pierre PLATEL\*, Jean-Guy ASTRUC\*\*, Laurent BRUXELLES\*\*\*

\* BRGM – Service Géologique Régional Aquitaine – 24, Avenue Léonard de Vinci – 33600 PESSAC [jp.platel@brgm.fr](mailto:jp.platel@brgm.fr)

\*\* Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize. E-mail : [jean.astruc@wanadoo.fr](mailto:jean.astruc@wanadoo.fr)

\*\*\* INRAP – INRAP, ZAC des Champs Pinsons, 13 rue du Négoce 31650 St-Orens-de-Gameville et CRPPM/TRACES (UMR 5608 du CNRS). E-mail : [laurent.bruxelles@inrap.fr](mailto:laurent.bruxelles@inrap.fr)

Après la régression fini-jurassique (145 Ma) suivie de la structuration et de la karstification des massifs calcaires du Jurassique nord et est-aquitain, la mer du Crétacé transgresse à nouveau toute la plate-forme nord-aquitaine (PFNA) à partir de l'Albien (110 Ma) en débordant le sous-bassin très subsident de Parentis situé à l'ouest. Cette transgression eustatique majeure a avancé en onlap au fur et à mesure de la montée de l'océan global. Rappelons que c'est pendant le Crétacé supérieur et surtout pendant le Cénomaniens supérieur-Turonien inférieur que le niveau de l'océan mondial a été le plus élevé de tout le Mésozoïque et le Cénozoïque (fig. 1) à cause d'une longue période de réchauffement climatique ("green-house Earth"), son niveau se situant à +200 m environ au-dessus du niveau actuel.

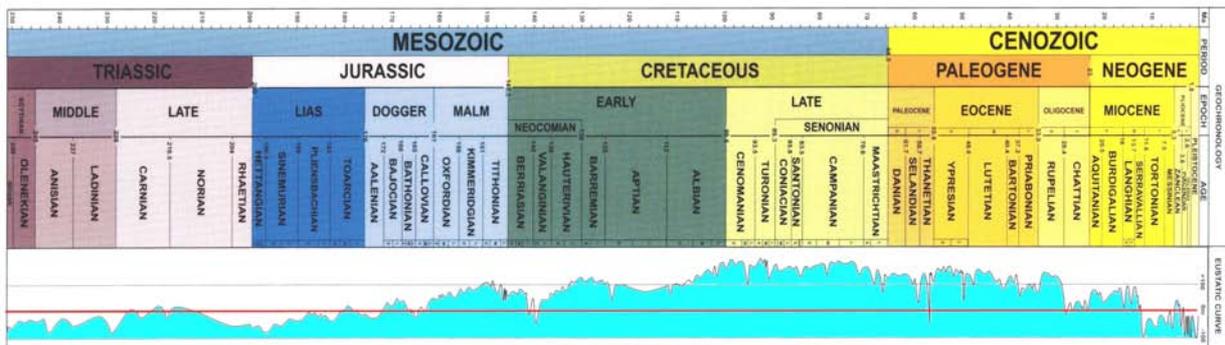


Fig. 1 – Evolution du niveau de l'océan mondial depuis 250 millions d'années

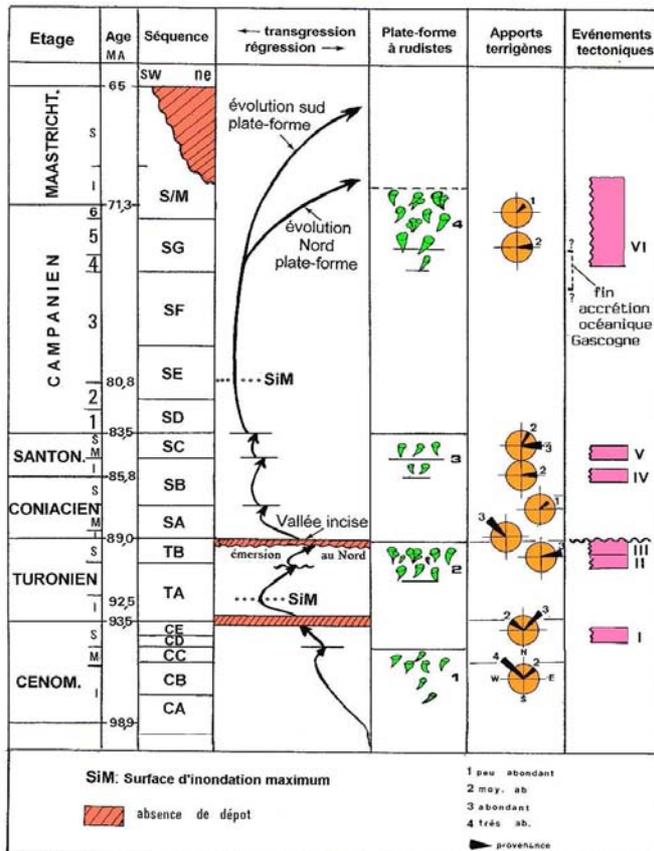
## I – Evolution sédimentologique et paléogéographique de la plate-forme

L'évolution verticale des dépôts du Crétacé supérieur nord-aquitain s'organise en deux séquences de 2<sup>ème</sup> ordre, grands cycles sédimentaires transgression/régression, séparées par une discontinuité régionale majeure correspondant à une nette émergence sur le nord de la plate-forme avec lacune du Turonien terminal, zones à *Subprionocyclus neptuni* et *Vaccinites giganteus* (Platel, 1987, 1996; fig. 2). La séquence 1 débute dès l'Albien et se termine au Turonien supérieur basal; la séquence 2 recouvre tout le Sénonien et le Maastrichtien. Ces deux cycles peuvent être découpés par l'analyse séquentielle en quinze séquences de 3<sup>ème</sup> ordre qui témoignent de l'évolution du bassin.

### 1.1 – La mégaséquence T/R cénomano-turonienne

D'une durée d'environ 10 Ma et comprenant 7 séquences, elle est dissymétrique avec une longue phase transgressive de 6 Ma environ pendant la fin de l'Albien et presque tout le Cénomaniens, une phase d'apparente stabilité de 1,5 Ma seulement durant le Turonien inférieur/moyen basal (maximum transgressif) et une rapide phase régressive de moins de 2 Ma au Turonien moyen/supérieur.

La phase de transgression rythmée par des séquences rétrogradantes se fait par débordements successifs en onlap sur les terrains antérieurs. Le Périgord Noir n'est atteint par la mer qu'au Cénomaniens supérieur, dont les environnements margino-littoraux riches en tourbières ligniteuses n'ont cependant pas recouvert le secteur de Terrasson, Sarlat et Gourdon (fig. 3); des vallées incisées assez profondes, des paléoreliefs et dépressions karstiques ont été mises en évidence (Platel, 1987) dans les calcaires jurassiques du secteur de La Chapelle-Péchaud entre Le Bugue et Belvès. Un bras d'une mer cénomaniens venant du sud est toutefois connu (*Formation du Boulevé* - Platel, 1987), s'étendant sur plusieurs dizaines de kilomètres sur le Causse de Gramat (Astruc, 1992). Le seuil émergé n'a été transgressé qu'au Turonien inférieur au cours de la séquence TA.



**Fig. 2 - Evolution séquentielle et sédimentologique générale de la plate-forme nord-aquitaine pendant le Crétacé supérieur (Platel, 1987, 1996)**

Le maximum de cette première transgression est atteint pendant le Turonien inférieur (zone à *Mammites nodosoïdes*), la surface d'inondation maximum étant située dans les marnes vertes de l'unité TA2 (âge probable: 92,5 Ma). Comme les faciès connus les plus à l'est autour de la RN 20 sont toujours constitués de calcaires crayeux de plate-forme externe (fig. 4), il est certain que cette transgression a largement envahi le Quercy, mais en y déposant des sédiments plus littoraux, probablement granulaires, voire à phase silicoclastique plus ou moins grossière. Localement ont dû exister des conditions permettant l'extension des environnements de plate-forme interne, où ont pu s'établir des bioconstructions à rudistes, comme celles qui ont proliféré en Périgord et dans les Charentes pendant la phase régressive du Turonien moyen/supérieur. Ce sont les altérites de ces dépôts proximaux que l'on retrouve dans les remplissages du paléokarst quercynois (Astruc, 1992).

**1.2 – La discontinuité majeure du Turonien terminal** est ensuite la traduction de la chute eustatique majeure qui s'est produite à partir de 90 Ma environ, associée à un soulèvement généralisé de tout le nord de la plate-forme, cette limite de séquence témoigne d'une nette phase d'émersion avec hardground perforé, dissolution micro-karstique et bréchification sur place des calcaires du sommet du Turonien. Le Coniacien inférieur repose donc souvent en légère discordance sur le Turonien, même en dehors des structures positives. Dans les Charentes, des vallées incisées d'une dizaine de mètres de profondeur entaillent le sommet du Turonien (secteur de Saintes). Sur le Quercy de telles morphologies en gouttières ont dû aussi exister, mais ont disparu par ablation des terrains turoniens.

### 1.3 – La mégaséquence T/R du Coniacien au Maastrichtien

Beaucoup plus long que le précédent (24 Ma environ), ce cycle présente une évolution dissymétrique inverse à celle du précédent cycle T/R, avec une phase transgressive relativement courte (5 Ma environ) pendant tout le Coniacien et le Santonien, puis une période presque stable de 4 Ma environ du Campanien inférieur à supérieur basal; celle-ci est suivie par une lente phase régressive pendant 12 Ma depuis le Campanien supérieur jusqu'au Maastrichtien supérieur.

La transgression qui débute au Coniacien basal est immédiatement extensive, se poursuivant durant le Coniacien supérieur-Santonien. Pendant cette mégaséquence, les dépôts les plus transgressifs sont constitués soit par des grès glauconieux (Coniacien basal), soit par des faciès marneux à huîtres d'extension régionale (sommet du Coniacien et Santonien moyen), mais aussi par des calcaires crayeux à silex sur une grande partie de la plate-forme. Bien caractérisés en Périgord Noir, les prismes de haut niveau des trois premières séquences sont constitués par les dépôts proximaux à littoraux de grès et sables à chenaux et mégarides, qui progradent d'est en ouest.

La transgression se stabilise pendant le Campanien inférieur, correspondant à des grandes séquences aggradantes à termes crayeux peu différenciés, constitués de bancs alternants riches en spongiaires. A la limite Campanien inférieur/supérieur, un hard-ground très net a été identifié dans la

région de Périgueux (Platel, 1996), surmonté par une unité marneuse très riche en glauconie; c'est là que se situe le maximum transgressif du cycle T/R sénonien, bien daté par ammonites (*Hoplitoplacenticeras marroti*, *Trachyscaphites spiniger*, *Scaphites haugi* et *S. gibbus*), vers 80,8 Ma d'après l'échelle de Gradstein et al.

L'érosion tertiaire a nettement repoussé vers l'ouest la limite des affleurements campaniens (fig. 5), mais il est certain que le Quercy a été largement recouvert par la mer crétacée. Cependant, compte tenu des faciès crayeux à pelletoidaux, voire des grès fins, connus les plus à l'est du Périgord (secteur de Belvès et du Bugue), on peut penser que cette deuxième transgression a été moins étendue sur le Quercy que celle du Turonien, y ayant déposé des sédiments plus proximaux à littoraux. Le rivage n'a probablement pas dû dépasser une vingtaine de kilomètres à l'est de Souillac et Cahors.

La régression fini-crétacée a débuté dès le Campanien supérieur (72 Ma) au nord et nord-est de la PFNA, alors qu'elle ne se produisit qu'au Maastrichtien supérieur (66 Ma) dans sa partie sud-ouest. Elle est partout matérialisée par des calcaires bioclastiques à grands foraminifères et rudistes, largement érodés par les dépôts continentaux du Tertiaire. Le Quercy était alors complètement émergé.

Trois cartes paléogéographiques sont présentées comme exemples représentant les environnements distaux connus pendant les maxima transgressifs du Turonien inférieur et du Campanien, à comparer avec les faciès proximaux qui existaient au Cénomaniens.

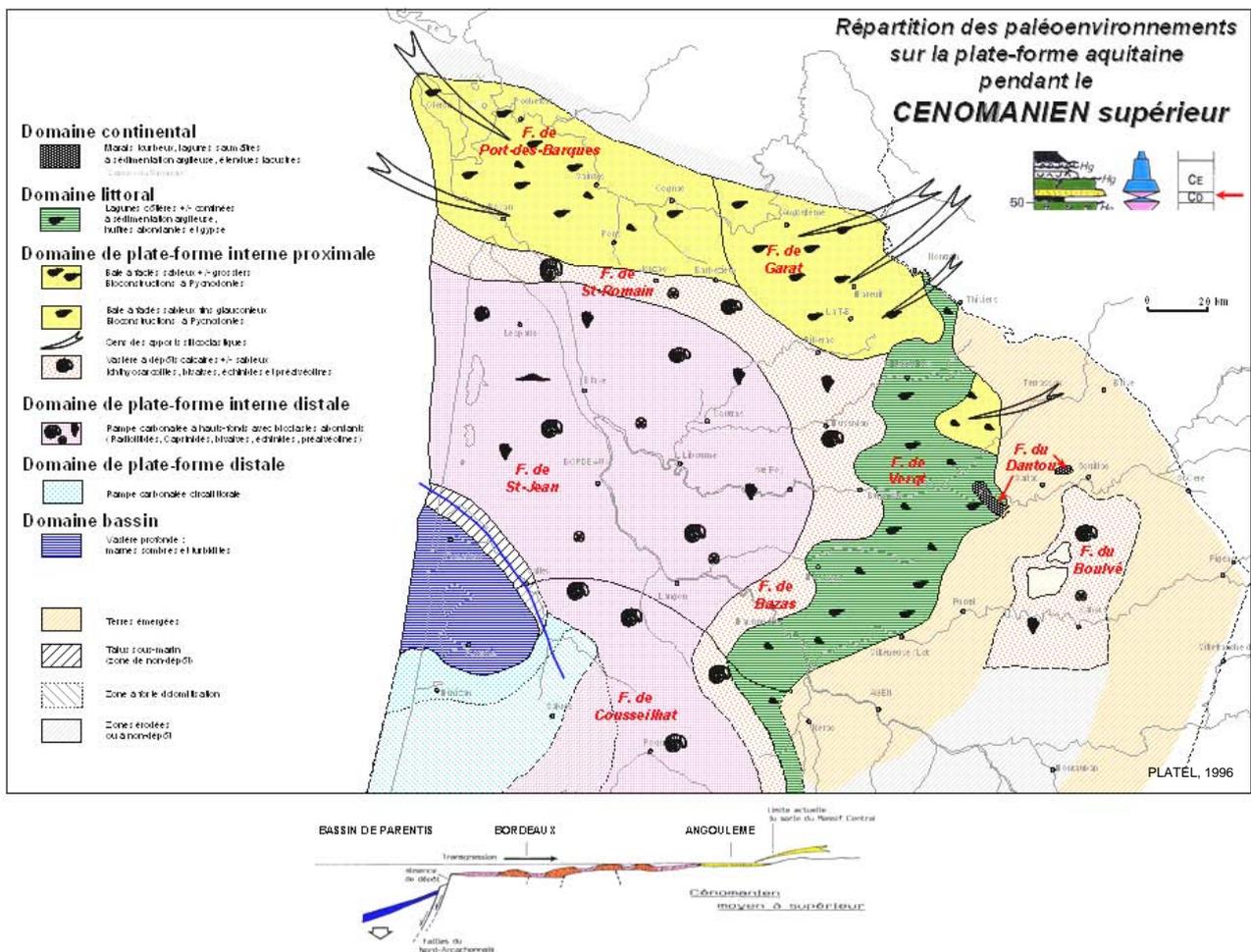
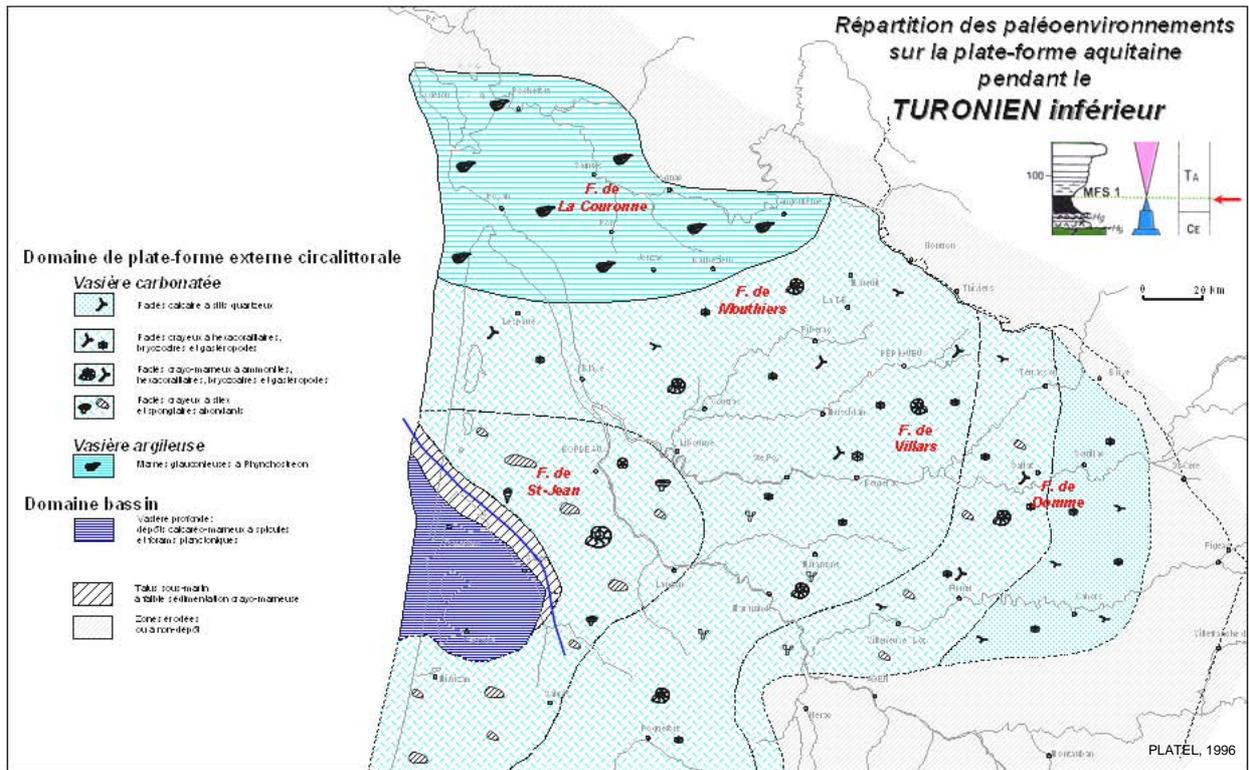
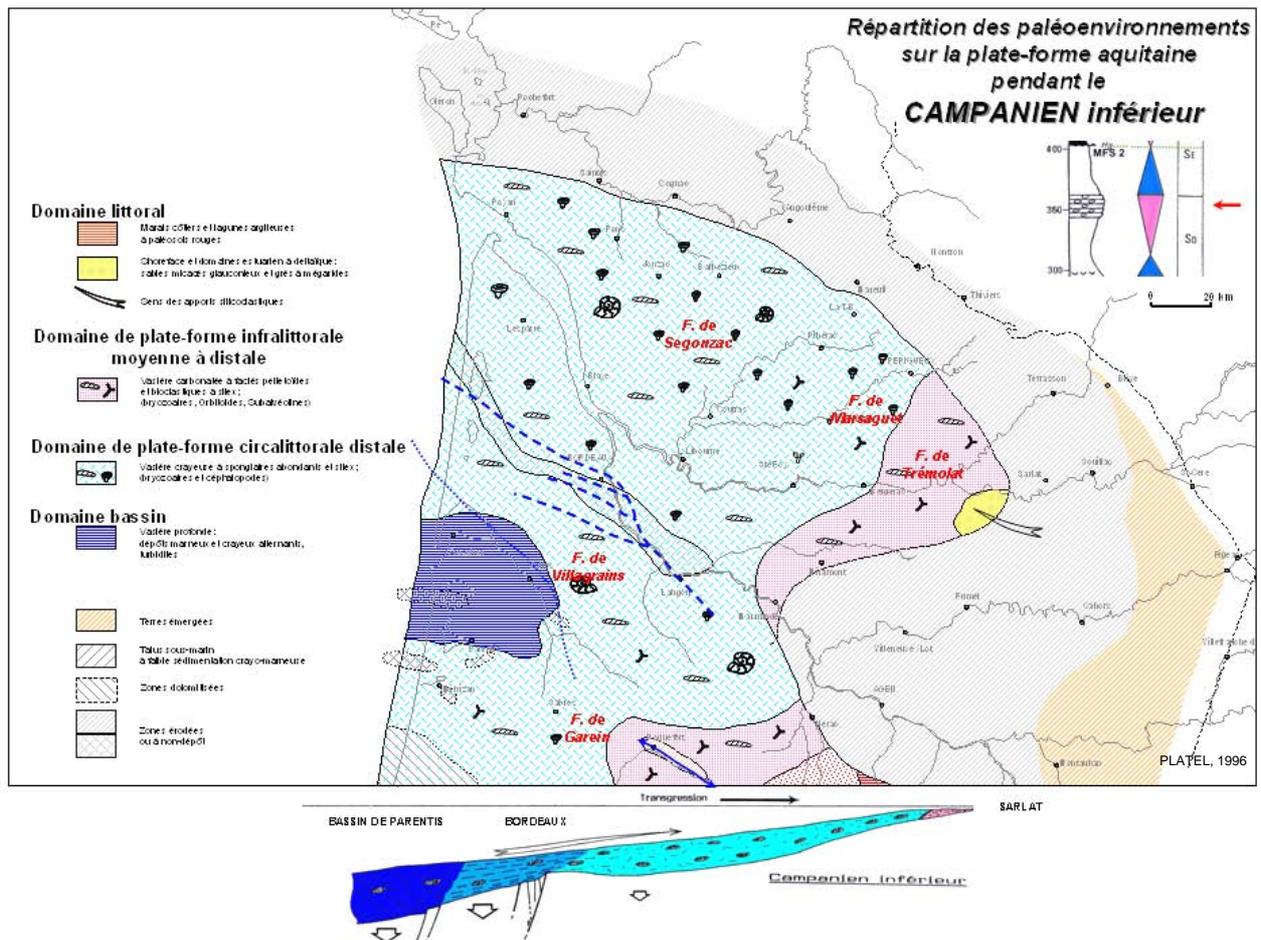


Fig. 3 - Paléogéographie de la plate-forme nord-aquitaine pendant la transgression du Cénomaniens supérieur (Platel, 1996)



**Fig.4 - Paléogéographie de la plate-forme nord-aquitaine pendant la transgression du Turonien inférieur (Platel, 1996)**



**Fig.5 - Paléogéographie de la plate-forme nord-aquitaine pendant la transgression du Campanien inférieur (Platel, 1996)**

## II – Les altérites

Ces formations affleurent principalement sur le Quercy occidental et sur les causses de Martel, aux environs du Treil et au NW de Baladou et sur le causse de Gramat dans des cavités colmatées. Il s'agit d'un ensemble complexe de roches, généralement meubles, parfois indurées par la silice ou les oxy-hydroxydes de fer, désigné, dans un passé récent, sous le nom de "sidérolithique". Le terme d'altérite a été préféré à celui de paléoaltérite pour tenir compte de l'évolution prolongée de ces roches dont, semble-t-il, certains faciès ont subi des modifications diagénétiques au cours du Quaternaire.

Toutes ces formations résultent d'une altération bioclimatique affectant un substratum jurassico-crétacé à lithologie non homogène. Cette hétérogénéité dans la texture des roches affectées par l'altération est à l'origine de la diversité des altérites rencontrées et des variations de leur épaisseur.

Plusieurs faciès ont pu être distingués dont les altérites du Crétacé que l'on retrouve aussi bien sur le Crétacé que sous forme résiduelle, à la surface des plateaux jurassiques.



**Figure 6 : Des lambeaux d'altérites versicolores crétacées occupent le fond de nombreuses dépressions, comme ici sur le Causse de Martel (photo L. Bruxelles).**

Deux types d'altérites ont été distingués en fonction de la roche mère et des conditions paléoenvironnementales de leur formation (Astruc *et al.*, 1994) :

- Les altérites sur roche-mère crétacée sont constituées de sable, d'argiles sableuses et d'argiles de couleur variable, allant du blanc au rouge violacé en passant par le jaune et l'ocre (fig. 6). Il existe un lien de parenté assez net avec la roche-mère dont on retrouve le cortège d'insolubles. Les faciès de ces altérites reflètent ceux des roches-mères dont elles dérivent et un tableau de correspondance a même été établi entre la roche-mère et les altérites (Astruc, 1990) : jusqu'à 5 mètres d'argiles rouges pour le Cénomaniens ; 10 mètres d'argiles rouges et brunes localement sableuses pour le Turonien. Les résidus d'altération des calcaires crayeux du Turonien inférieur et moyen produiront essentiellement des argiles rougeâtres, alors que les faciès gréseux du Turonien supérieur et du Sénonien fourniront, après dissolution des ciments carbonatés, des graviers et des sables à matrice argileuse beige. Ainsi, on a jusqu'à 50 mètres de sables fins, localement argileux à débris de lamellibranches pour le Coniacien et le Santonien supérieur ; des sables fins, argileux, à fragments de polypiers, de rudistes et de bois silicifiés pour le Campanien – Santonien moyen à supérieur. Ces altérites se retrouvent fréquemment dans les dépressions ou dans les anciennes cavités karstiques recoupées par la surface topographique.

- Les blocs de grès quartzitiques se situent surtout à l'ouest du causse. Ce sont d'anciennes altérites sableuses cimentées postérieurement par la silice.

### III - Remplissages paléokarstiques avec les altérites issues du Crétacé supérieur

Le colluvionnement des altérites issues du Crétacé forme le remplissage de cavités paléokarstiques éocènes, la position parfois dominante dans le paysage de certains affleurements résulte souvent d'une inversion de relief.

La vaste cuvette de Pech Lambert (casse de Martel) possède un remplissage argilo-sableux déblayé partiellement par soutirage (fig. 7). Ce phénomène est démontré par la présence de dolines poinçonnant le fond plat de cette cuvette, et témoignant de l'activité actuelle du karst en profondeur. Elle appartient à un vaste ensemble qui couvre l'angle NW du causse de Martel.

Au remplissage argilo-sableux de ces cuvettes s'associent parfois des lentilles d'argiles kaoliniques témoignant d'une sédimentation palustre attribuée à l'Eocène sur le Périgord Noir (Fumel, Belvès).

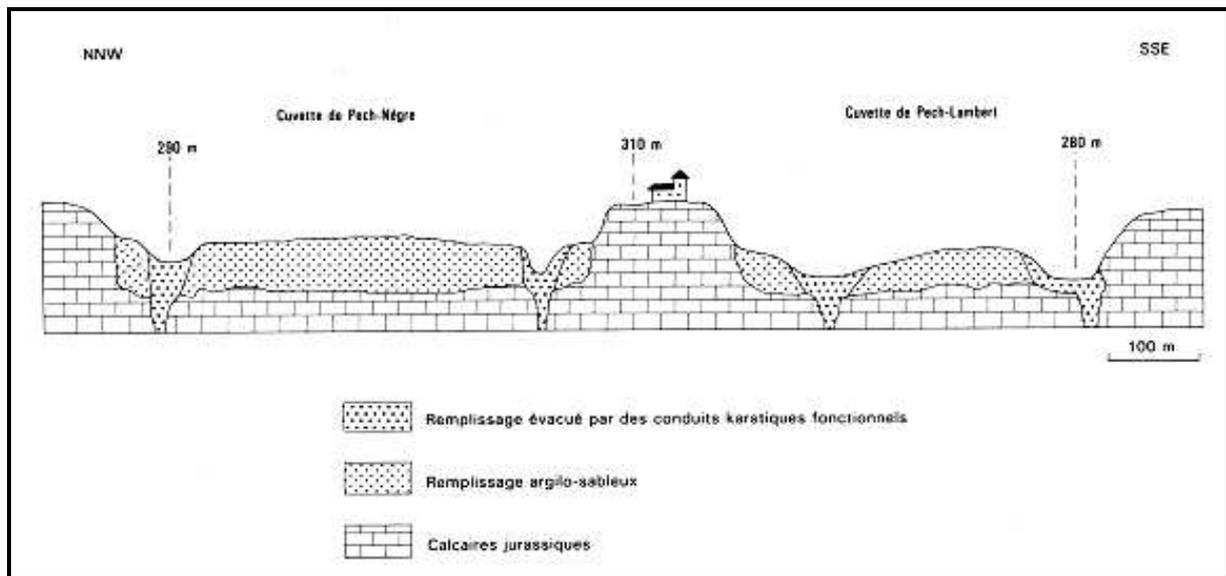


Figure 7 : Coupe schématique des cuvettes de Pech-Nègre et Pech-Lambert

Sur le causse de Gramat, l'érosion plio-quadernaire a tronqué presque complètement le karst éocène et on ne retrouve plus que les vestiges du karst profond représentés par des cavités plus exigües, complètement remplies de sables fins argileux, telles les nombreuses galeries décapitées par l'érosion et qui ont souvent été exploitées comme sablières.

### IV – Le rôle de la couverture crétacée sur la morphogénèse caussearde

Le résidu d'altération des dépôts marins du Crétacé a été extrêmement abondant et a recouvert plus ou moins complètement les causses du Quercy. L'épaisseur de ces formations est très variable. Localement pelliculaire, elle dépasse parfois plusieurs mètres, voire plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur au fond des dépressions. Cette couverture d'altérite a joué un grand rôle dans la corrosion des calcaires sous-jacents. Elle a conditionné l'évolution d'un karst sous couverture (cryptokarst) dont les pechs les plus hauts sont les témoins (buttes coniques).

Avec le début du creusement des canyons, un gradient hydraulique de plus en plus marqué apparaît. Le réseau hydrographique organisé se met en place sur les altérites et en évacue une grande partie. Les pechs sont progressivement exhumés de leur couverture dont seule une partie reste piégée dans les dépressions basales. En aval, le réseau hydrographique qui circulait initialement sur les altérites s'inscrit progressivement dans le substrat calcaire. On perçoit bien, grâce à l'utilisation des modèles numériques de terrain l'empreinte de cet ancien réseau hydrographique qui converge vers la vallée de la Doue (fig. 8), dans la partie nord-est du Causse de Martel.

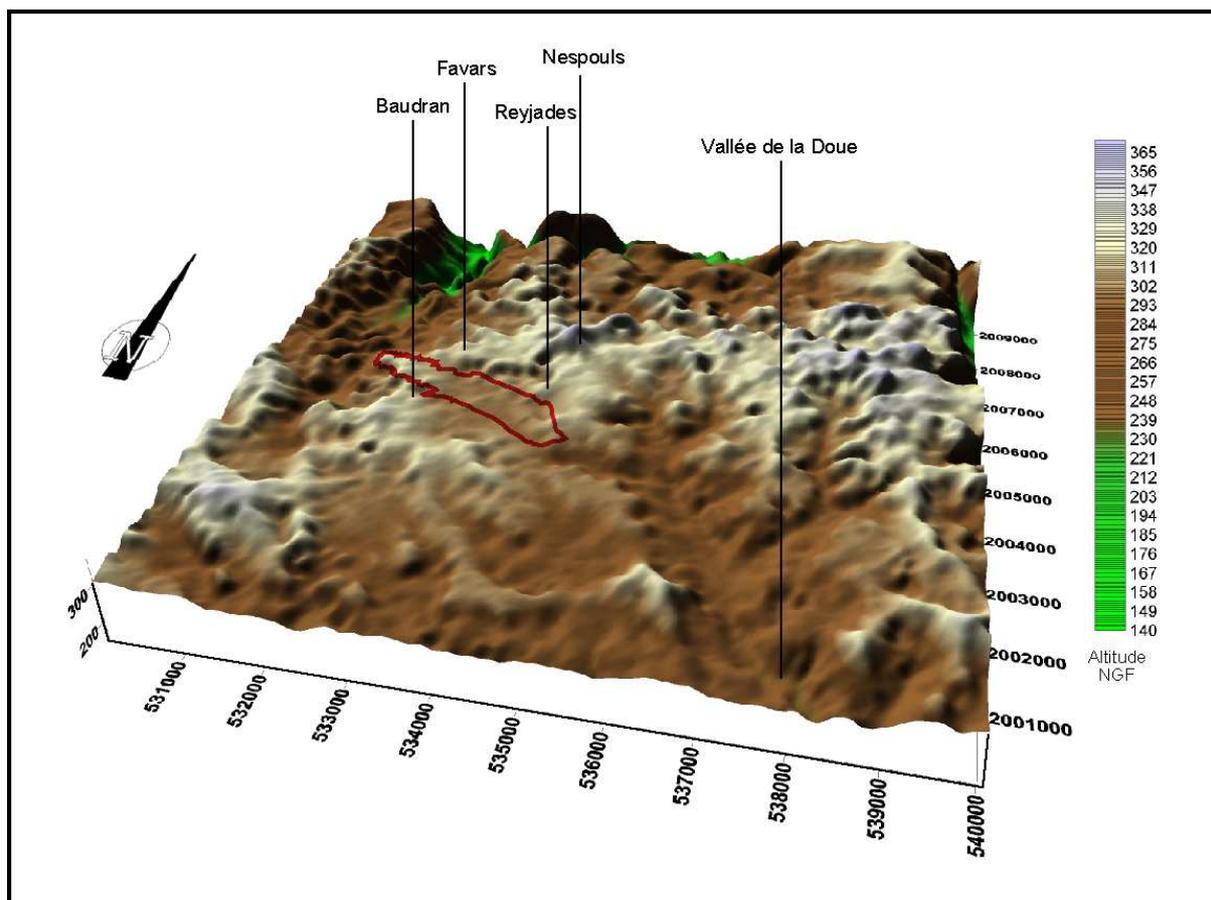


Figure 8 : Modèle numérique de terrain montrant les principales morphologies karstiques de la partie nord-est du Causse de Martel.

Le creusement des canyons, en réponse au soulèvement d'ensemble du Massif Central n'est pas nécessairement continu. Plusieurs niveaux de replats semblent marquer des périodes de répit pendant lesquelles les processus d'aplanissement karstique ont façonné des formes planes. La mise en place de ces replats morphologiques, donc indépendants de la structure géologiques, témoigne de la proximité momentanée du niveau de base. Le soutirage, alors peu virulent, a permis l'accumulation d'une couverture meuble à peu près étanche provenant du remaniement des altérites du Crétacé. Ainsi, la crypto-corrosion n'affecte plus le substrat calcaire que de manière très modérée et la dissolution s'opère plutôt sur les bordures. Les aplanissements gagnent donc progressivement en extension. Les dolines deviennent coalescentes (ouvalas) et de véritables poljés ont pu se mettre en place. En contre-haut de ces replats, le secteur en relief, garnis de Pechs, est le témoin d'anciennes formes qui existaient sur l'ensemble du causse et qui ont été en grande partie sapées par ces différentes phases d'aplanissement. Les grandes dolines de ce secteur ont également pu gagner en extension à cette occasion et devenir coalescente (ouvalas).

Avec la poursuite du creusement des canyons et l'abaissement de plus en plus marqué du niveau de base, l'essentiel de la couverture d'altérites a été évacuée par le karst. Les circulations de surface ont disparu, ne pouvant plus résister au soutirage karstique. Bénéficiant des résidus de couverture argilo-sableuse, la crypto-corrosion n'a pu se maintenir que dans quelques secteurs de plus en plus restreints. Aux processus d'aplanissements s'est substituée une verticalisation générale des formes. Le fond des ouvalas se différencie : les dolines les plus actives ou les mieux alimentées en eau s'approfondissent alors que les autres restent perchées sur les bordures. La formation des dolines de ce secteur est régie en grande partie par la permanence de lambeaux de couverture argilo-sableuse.

## V – Les témoins de l'érosion de la couverture d'altérite

### V1 – L'empreinte des anciens cours d'eau

Ainsi, le rôle de cette couverture dans l'histoire du paysage se traduit non seulement par la formation d'un crypto-karst ancien, mais aussi par le maintien des processus de crypto-corrosion en surface alors que le niveau de base est largement déprimé. Cette couverture joue également un rôle important dans la mise en place et le fonctionnement d'un réseau hydrographique hiérarchisé et extrêmement bien développé. Après évacuation partielle de la couverture d'altérite, l'empreinte de cet ancien réseau hydrographique dans le substrat jurassique reste perceptible dans le paysage. C'est le cas, nous venons de le voir, dans la partie nord-est du Causse de Martel, en amont de la vallée de la Doue. On retrouve également ces formes dans la partie orientale du Causse de Gramat.

Ainsi on distingue trois ensembles morphologiques à la surface du plateau (fig. 9) :

- à l'ouest de la vallée de Vers, on voit clairement l'existence d'un réseau hydrographique bien marqué dans le paysage. Son développement a été favorisé par la nature du substrat kimméridgien, comprenant des niveaux marneux imperméables et non karstifiables. Il est également dû à la présence, dans ce secteur, de couvertures d'altérites des niveaux du Kimméridgien et des formations crétacées aujourd'hui disparues mais aussi des dépôts tertiaires. Toutes ces caractéristiques concourent au maintien des écoulements en surface et à leur alimentation continue en eau ;
- à l'est de la vallée de Vers, jusqu'aux environs de Quissac, on perçoit encore dans le paysage l'empreinte d'un système hydrographique. Celui-ci est aujourd'hui fossile et il est en grande partie démantelé par le soutirage karstique ;
- enfin, de Quissac jusqu'à la bordure du causse, on ne perçoit pas de vestiges d'un tel réseau hydrographique en surface. On observe plutôt l'existence d'un vaste aplatissement pouvant correspondre à un ancien poljé de bordure. Il est aujourd'hui traversé par deux petites vallées allochtones fossiles : le vallon d'Issendolus et le vallon du Robinet.

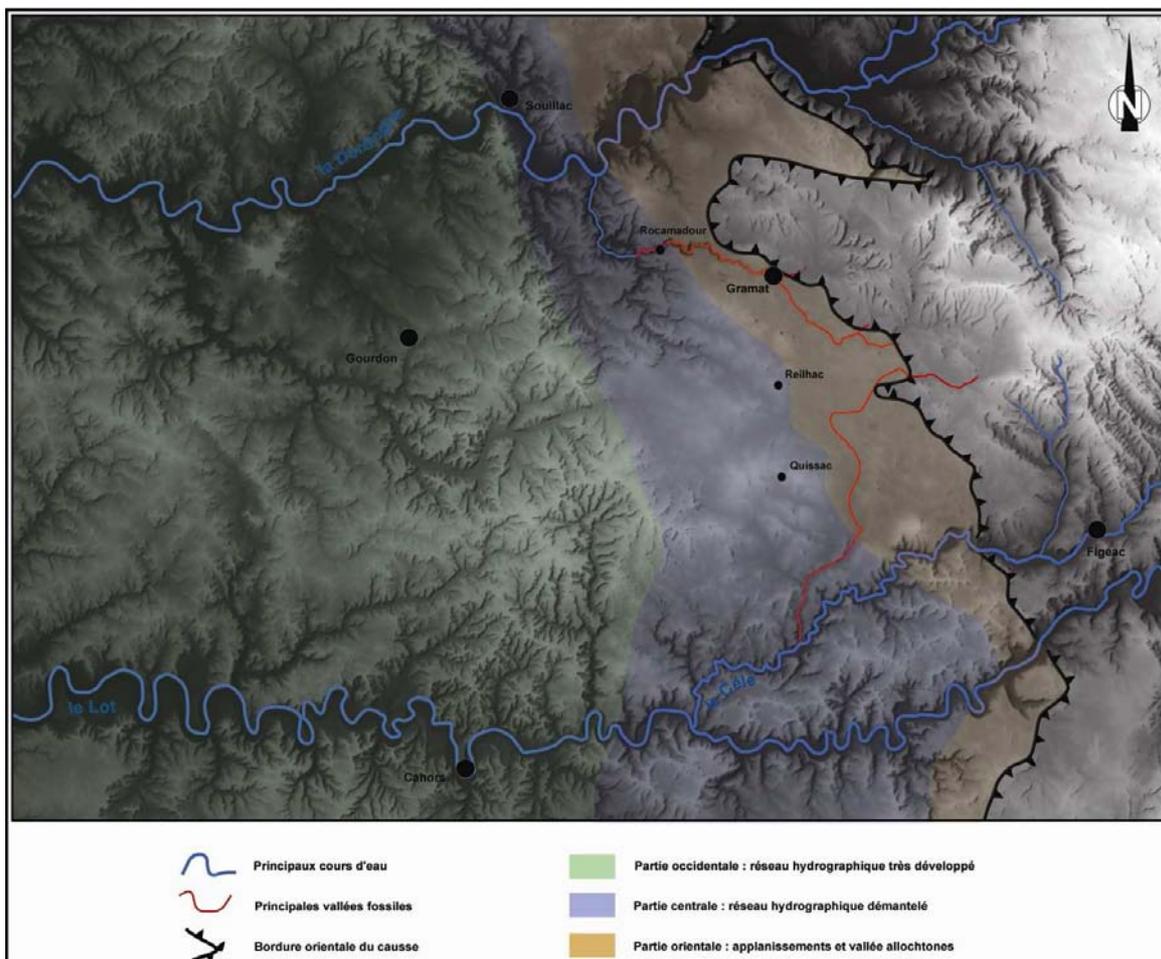


Figure 9 : Carte hypsométrique du Causse de Gramat (altitudes croissantes du plus foncé au plus clair) montrant les différents ensembles morphologiques.

Les vestiges d'un ancien réseau hydrographique situés à l'est de la vallée de Vers peuvent matérialiser, comme c'est le cas à l'ouest de la vallée de Vers, l'existence dans ces secteurs d'une couverture meuble ayant contribué à son développement. Ainsi, sur la base de ces observations, on peut penser que l'ensemble du secteur situé entre la vallée de Vers et une ligne Rocamadour-Reillac-Quissac était initialement couvert par ces dépôts argilo-sableux. Ils ont permis la concentration et le maintien des circulations en surface jusqu'à ce que le soutirage karstique devienne trop important. Les écoulements ont alors été absorbés par des pertes et le reste de la couverture a été évacué par l'endokarst. Enfin, plus à l'est, il reste difficile de se prononcer quant à l'extension de cette couverture car le développement d'aplanissements karstiques liés à la position de piémont de cette partie du causse a effacé ces anciennes morphologies. L'étude détaillée des formes et des formations superficielles des autres causses permettra certainement d'aller plus loin dans cette approche. A ce titre, la surface du Causse de Gréalou, situé entre le Lot et le Célé est lui aussi marqué par l'existence d'un modelé de dissection et ce, jusqu'à la bordure orientale du plateau.

## V.2 – La constitution des terrasses alluviales

La constitution des terrasses alluviales du Lot et de la Dordogne peut aider à préciser les rythmes de l'érosion de cette couverture d'altérite mais également son extension. La présence de silex du Crétacé supérieur dans les alluvions indique qu'il existait encore des lambeaux d'altérite en cours d'érosion dans ce secteur.

Ainsi, on note la présence de galets de silex crétacés dans les alluvions anciennes du Lot, quasiment jusqu'à l'entrée de la rivière dans son canyon. Cette observation démontre qu'il y avait encore des dépôts résiduels crétacés jusque dans la partie orientale des causses (Turq, 1992). De même, dans la moyenne terrasse, on relève l'existence d'un grand nombre de silex crétacés dont la présence matérialise ici aussi la persistance de lambeaux de Crétacé au moins jusque dans la région de Vers. Cette abondance illustre également l'important volume d'altérites qui devaient persister sur le causse à cette époque. Enfin, la présence de silex diminue fortement dans les terrasses plus récentes. Ils sont plus rares dans la basse terrasse et quasiment absents en basse plaine. Cette forte diminution de la fréquence de silex dans les alluvions du Lot montre qu'une grande partie de la couverture d'altérites a déjà été déblayée.

Ce type d'approche, tout à fait pertinente pour reconstituer l'existence de ces couvertures, reste à développer plus en détail, à la fois dans la vallée du Lot, mais aussi de toutes les vallées qui traversent l'entablement des causses.

## Bibliographie

ASTRUC J. G. – 1988. – *Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées*. Doc. BRGM, n°133, 149 p.

ASTRUC J.-G. – 1990. – Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Gourdon, n°832, Orléans, BRGM, 45 p.

ASTRUC J.G. – 1992. – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille ST-GERY (857). Orléans : BRGM, et notice explicative par ASTRUC J.G. et al, 57 p.

ASTRUC J.-G, COUSTOU J.-C., CUBAYNES R., GALHARAGUE J., LORBLANCHET M., MARCOULY R., PELISSIE T. et REY J. – 1994. – Notice de la carte géologique de la France au 1/50000, feuille de Gramat, n°833, 69 p.

BRUXELLES L., COLONGE D. et SALGUES T. – 2006. – Morphologie et remplissage des dolines du Causse de Martel d'après les observations réalisées au cours du diagnostic archéologique de l'aérodrome de Brive-Souillac (Corrèze et Lot), *Karstologia*, n°47, p. 21-32.

PLATEL J.P. – 1987. – Le Crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du bassin d'Aquitaine. Stratigraphie et évolution géodynamique. Thèse Doctorat d'Etat ès-Sciences, Université de Bordeaux III, 573 p. avec atlas. *Documents BRGM*, n°164 (1989).

PLATEL J.P. – 1996. – Stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique de la plate-forme carbonatée du Crétacé supérieur du Nord du bassin d'Aquitaine. *Géologie de la France*, n° 4, p. 33-58.

TURQ A. – 1992. – *Le Paléolithique inférieur et moyen entre les vallées de la Dordogne et du Lot.* – Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 782 p.

## Reconnaissance de l'extension de la sédimentation crétacée

**Régine Simon-Coinçon**, Géosciences, retraitée de l'Ecole des Mines de Paris, CIG, 35 rue St-Honoré, 77305 Fontainebleau et UMR 7619 du CNRS Sisyphe "Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux". E-mail : [rsimon@geosciences.ensmp.fr](mailto:rsimon@geosciences.ensmp.fr).

Le Crétacé supérieur était connu antérieurement à l'ouest de Cahors (cf. carte géologique générale). Il a été étendu à plus de 20 km à l'est de cette ville (Astruc (1988)). De nouveaux travaux (Simon-Coinçon, Alabouvette *et al*, 1984, Bruxelles, 2001) ont montré que la mer crétacée avait atteint les bordures actuelles du socle, depuis l'ouest le pénétrant profondément, jusqu'au delà d'Espalion et avait aussi largement envahi le golfe des Grands Causses à l'Est.

Les paléoreliefs de cette époque ont été en partie enfouis sous les sédiments du Crétacé supérieur (Astruc, 1988). Ils évoquent les karsts à tourelles des zones tropicales (ouest de Gourdon), avec de vastes dépressions à fond plat (cuvette de Berganty, au sud de St-Cirq-Lapopie). Le biseau d'érosion avait peut-être même atteint les couches du Lias près du socle (Simon-Coinçon. *et al*, 1992).

La transgression du Cénomaniens débuta, à l'ouest dans les zones basses par des dépôts de marécages et de lagons côtiers, avant de passer à une mer ouverte avec une sédimentation de calcaires et de grès, tandis que sur les zones exondées l'altération ferrallitique se poursuivait. Des dépôts côtiers et estuariens datés par les pollens de la fin du Crétacé moyen ou du tout début du Crétacé supérieur ont été retrouvés en place préservés sous une coulée basaltique, près d'Espalion.

L'extension de la sédimentation crétacée se déduit par :

- Les vestiges de sédiments, grès silicifiés épars ou en place (peu d'indices de sédiments sur le Quercy même).
- Les remplissages des paléokarsts qui ont conservé des témoins des anciennes couvertures sédimentaires altérées et soutirées.

### I - Les cuvettes de Martel

Le causse de Martel forme l'extrémité septentrionale des causses du Quercy et s'appuie au premier contrefort du Massif Central, plateau d'altitude moyenne de 300 m, il est taraudé par d'innombrables dolines, déprimé par un ensemble de vastes cuvettes à fond plat et entaillé par de longues vallées sèches (fig. 1). Il est couvert d'un épais manteau de formations superficielles argilo-sableuses..

Son substratum est constitué de terrains jurassiques, à faible pendage vers le sud-ouest ; une dépression périphérique se développe dans les grès, marnes et argiles du Lias au contact du socle. Les terrains transgressifs crétacés à l'ouest sont attribués au Crétacé.

Ces formations sont constituées d'une accumulation sans structuration nette de graviers et de galets essentiellement quartzeux, pris dans une matrice argilo-sableuse rubéfiée. A proximité du Massif Central les galets deviennent plus abondants. Des niveaux de concrétions silicifiées ou de dalles siliceuses de 10 à 25 cm d'épaisseur se suivent sur plusieurs mètres. Sur les pourtours, s'observent des paléosols jalonnés par de nombreux bois silicifiés.

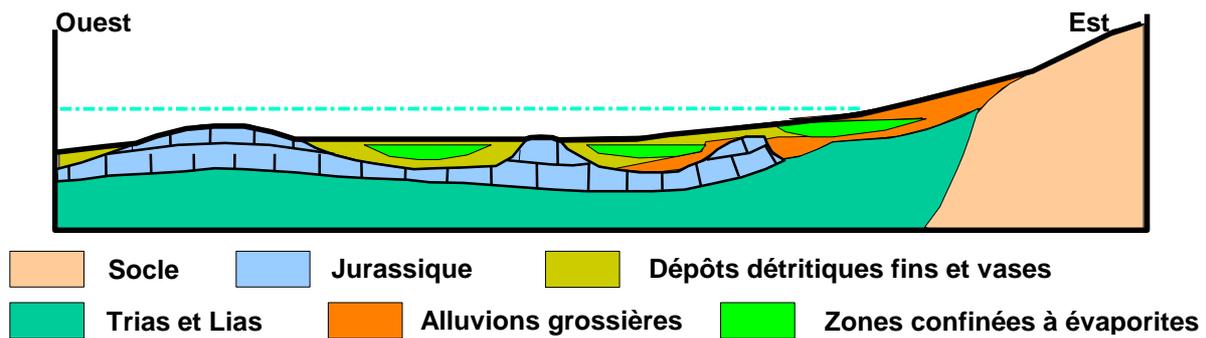


Figure 1 : Coupe schématique des cuvettes de Martel

## I.1 – Fraction détritique

La matrice argilo-sableuse des altérites comprend les éléments suivants :

**Argiles** :  $< 2 \mu \geq 40\%$  , Illite et Kaolinite dominante

### **Fraction sableuse :**

« *Oolithes* », formes millimétriques, silicifiées, vides ou remplies d'argile, agglomérées en nids, origine indéterminée.

*Pisolithes* à structure concentrique, brillants, débris de cuirasse ferrugineuse.

*Grains terreux* = grains polyminéraux ou minéraux lourds avec cortex d'altération.

*Minéraux lourds* : hornblende, tourmaline, sphène, ilménite, grenat magnétite abondante

*Quartz* : (Fig 3)

On observe de très nombreux quartz émoussés luisants, identiques aux grains de quartz des grés maris qui affleurent à l'ouest de la feuille de Souillac et de très abondants quartz automorphes bipyramidés et en baguette.

### *Concrétions et dalles siliceuses*

Certains niveaux silicifiés sont constitués de tapis algaires successifs dans lesquels on retrouve des grains de quartz, des débris coquilliers, des gastéropodes, des cristaux de gypses lenticulaires silicifiés. D'autres apparaissent sous forme de grands cristaux de quartz sur fond de calcédoine microcristalline avec par endroits de grands romboèdres de dolomie partiellement digérés par le quartz.

## I-2 - Le Milieu de dépôt

Ces différents critères nous permettent de définir le milieu : une lagune épisodiquement envahie par la mer, où se développaient des évaporites et où arrivaient des apports continentaux depuis le socle sous forme d'alluvions torrentielles (rejeu de la faille d'Argentat ?). L'altération rubéfiante à kaolinite s'est surimposée postérieurement.

La présence de quartz d'origine volcanique est intéressante, ces minéraux qui se déposent au cours de la sédimentation dans la lagune se retrouvent dans d'autres sites : dans les sables de Payrac, le paléokarsts de Rignac, le Cénomaniens basal (sables estuariens) de Roquelaure (est d'Espalion), ainsi que dans les dépôts coniaciens du Causse de Sauveterre. Il est tentant de faire de ces formations des dépôts côtiers créacés.

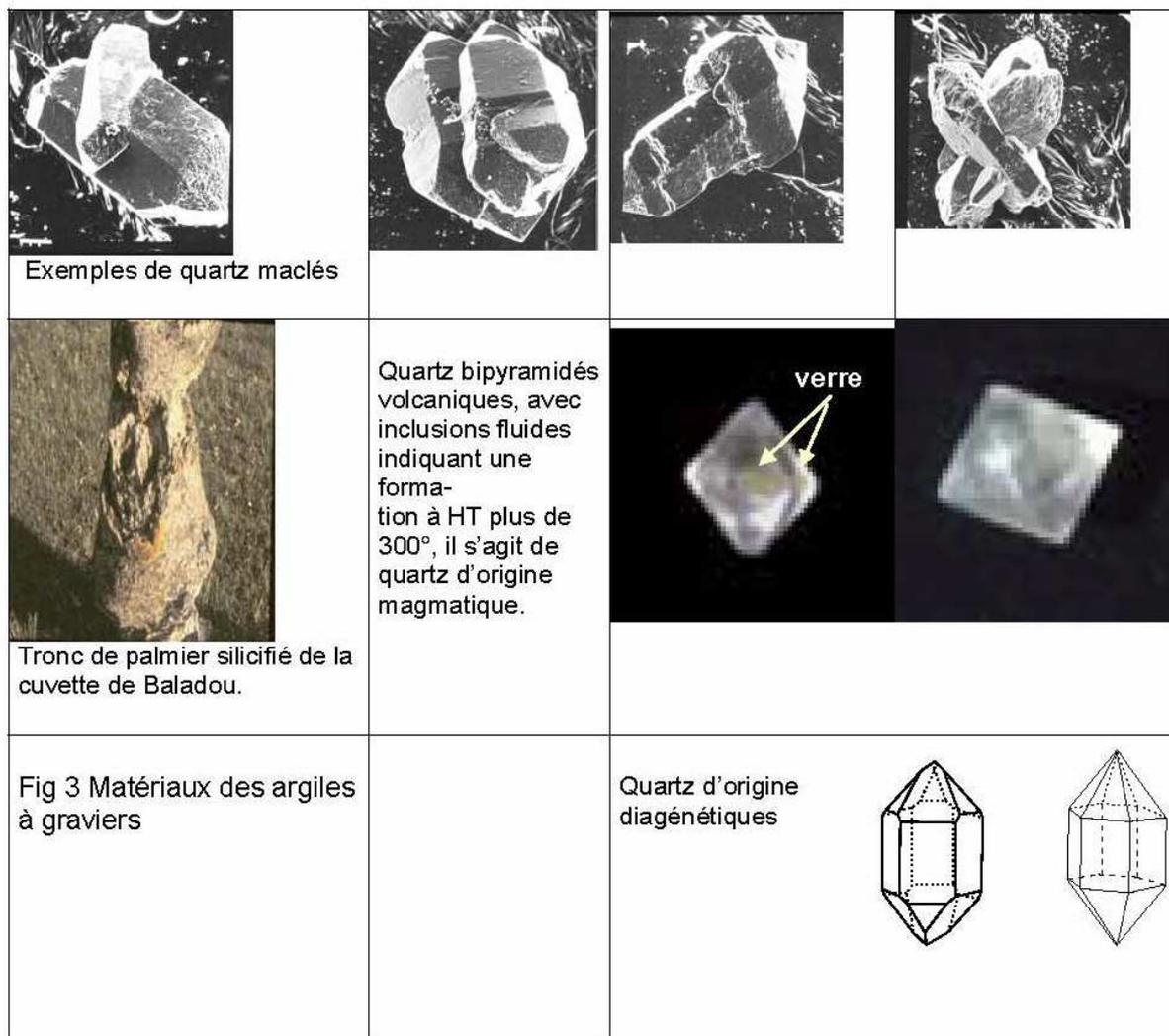


Figure 2 – Quartz d'origine volcanique trouvés dans les altérites crétacées

## II - Sédiments crétacés piégés dans les paléokarsts :

Nous pouvons suivre l'extension de la sédimentation crétacée de proche en proche grâce aux paléokarsts à remplissage sableux. En effet, les sédiments crétacés; principalement des calcaires gréseux, ont été karstifiés dès le retrait de la mer. Les karsts se sont également développés dans le substrat jurassique. Les terrains crétacés plus fragiles vis-à-vis de l'altération et de l'érosion ont donné une couverture argilo-sableuse. Les premiers karsts noyés avec une baisse du niveau de base ont cédé la place à des réseaux libres dans lesquels la couverture sableuse s'est écoulée, les colmatant.

L'érosion et des baisses du niveau de base ont par endroits débouché certaines portions de réseaux et certaines cavités qui ont été remblayées par les produits en provenance des versants : argiles rouges à pisolithes et piégeant les faunes, donnant naissance aux gouffres à phosphorites (cause de Limogne). Par la suite, la transgression lacustre oligocène est venue fossiliser ces paysages sur le sud du Quercy.

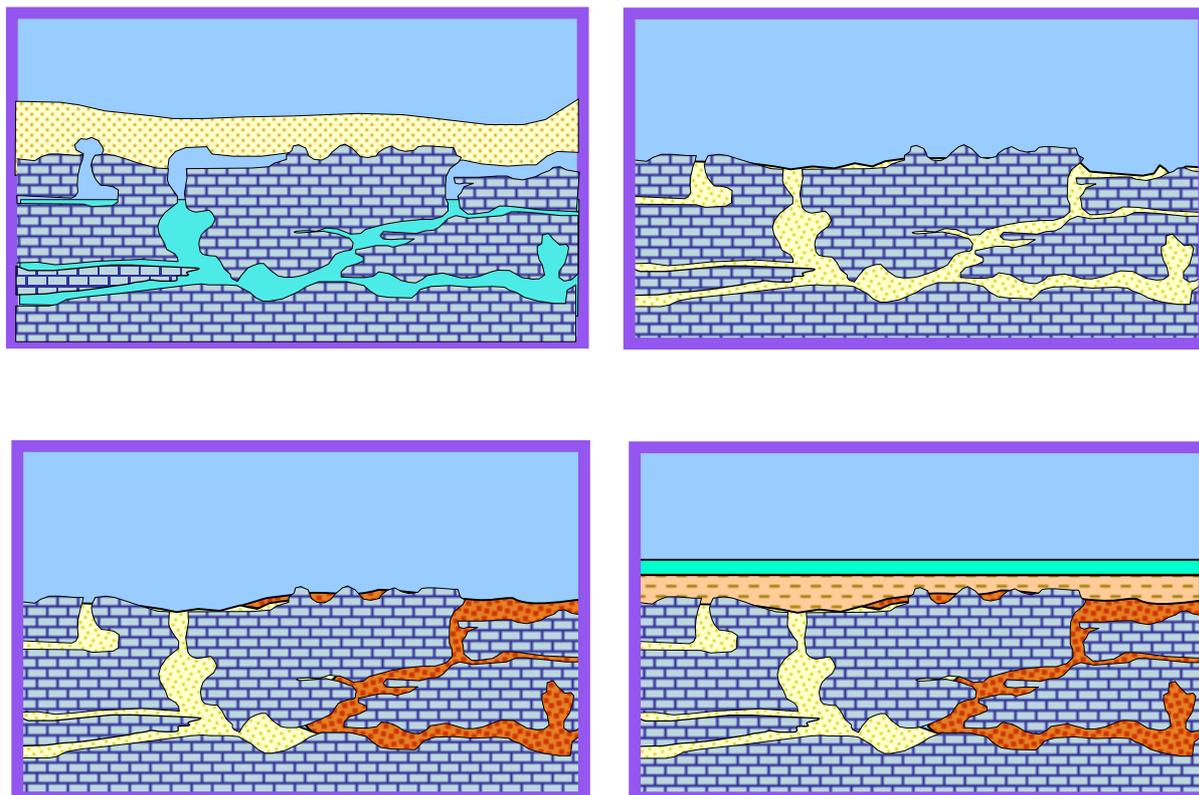


Figure 3 – Evolution de la couverture crétacée

## Conclusion

La transgression cénomaniennne a pénétré profondément, débordant le Quercy, pour envahir le Déroit de Rodez et les zones basses du socle. Une question reste en suspens. Quels sont ses rapports avec le Crétacé des Grands Causses ? Dans l'est du Déroit de Rodez (Causse de Sauveterre) les premiers dépôts crétacés sont coniaciens. Par contre, il ne semble pas y avoir eu d'invasion marine au-delà du Cénomanienn pour l'ouest du secteur de Séverac-le-Château.

## Références

- Alabouvette B., Azema C., Bodeur Y. et Debrant-Passart S. 1984. Le Crétacé supérieur des causses (s.l.). Géologie de la France, N°1-2, 67-73.
- Astruc J.G., 1988. Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Doc. BRGM, 133, 135 p.
- Bruxelles L. 2001. Dépôts et altérites des plateaux du Larzac central : causses de l'Hospitalet et de Campestre (Aveyron, Gard, Hérault). Evolution morphogénique, conséquences géologiques et implications pour l'aménagement. Thèse 3<sup>ème</sup>, Université de Provence, Aix-en-Provence, 266 p. + 5 cartes couleur.
- Simon-Coinçon R., Astruc J.G., 1992. Karstic sedimentary traps in Quercy (Southwestern France) : a Key for paleogeographic reconstructions. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Mémoires des Sciences de la Terre, n°18.

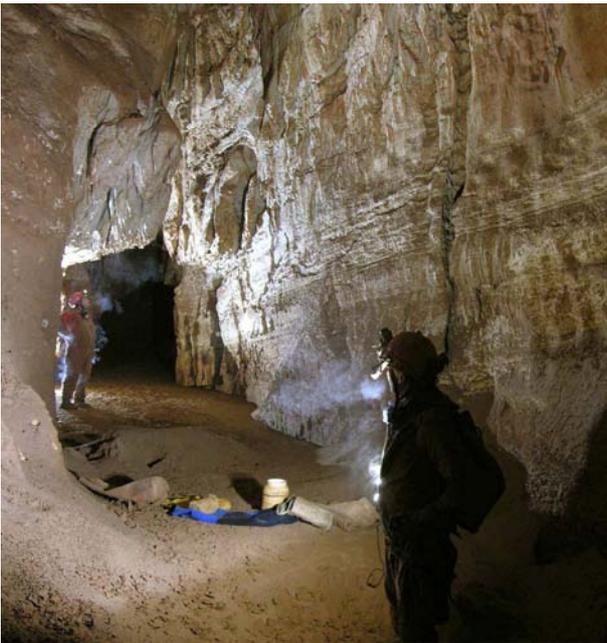
## Récents découvertes sous le Causse de Martel

Joël Trémoulet – Spéléo Club de Souillac

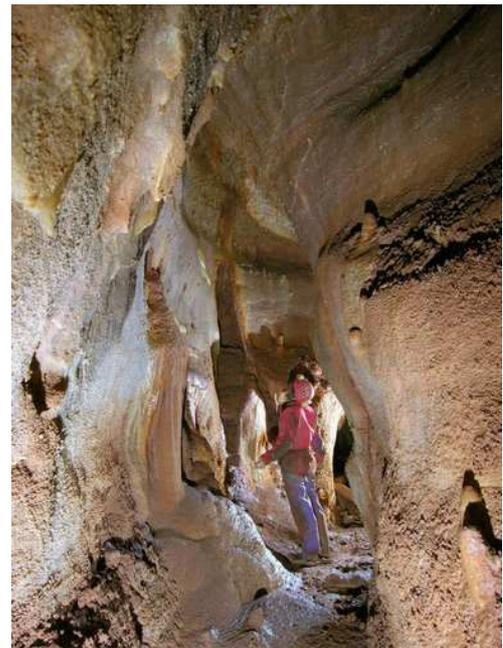
Les nombreuses découvertes de réseaux spéléologiques des Causses du Quercy sont un des éléments pour la compréhension du fonctionnement des circulations hydrogéologiques actuelles et l'histoire de ce karst. Un certain nombre de drains présumés sont toujours recherchés, d'autres en attente de prolongation.

Cependant, la prospection et le travail d'un collectif de spéléologues de Dordogne, de Corrèze et du Lot ont permis récemment de faire des découvertes intéressantes sur un secteur qui semblait pourtant marginal.

En effet, la vallée de la Borrèze est souvent considérée comme la limite sud-ouest du Causse de Martel. Or, à l'ouest de cette rivière pérenne, après la plongée puis le désiphonage d'une petite émergence fonctionnant en trop plein (Fontaine de l'Albas à Bourzolles), un réseau développant environ 1,5 km a été découvert. Au-delà de l'intérêt esthétique et sédimentologique, cette cavité amène à s'interroger sur l'origine des eaux de cette rivière temporaire : drainage du Causse, paléo drainage ou « trop-plein » de l'actuelle rivière de la Borrèze ?



Fontaine de l'Albas, galerie principale  
Photo Wilford O'Yl



Grotte de la renardière de Barbeyroux  
Photo :Wilford O'Yl

Cette découverte a également ouvert d'autres perspectives sur le secteur. Ainsi, ces mêmes spéléologues ont découvert des niveaux perchés de karstification (grotte de la renardière, 150 m) et une autre cavité (plus de 400 m, possédant un gisement paléontologique en cours d'étude).

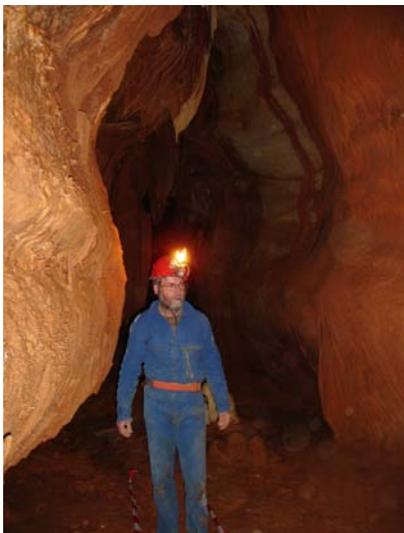
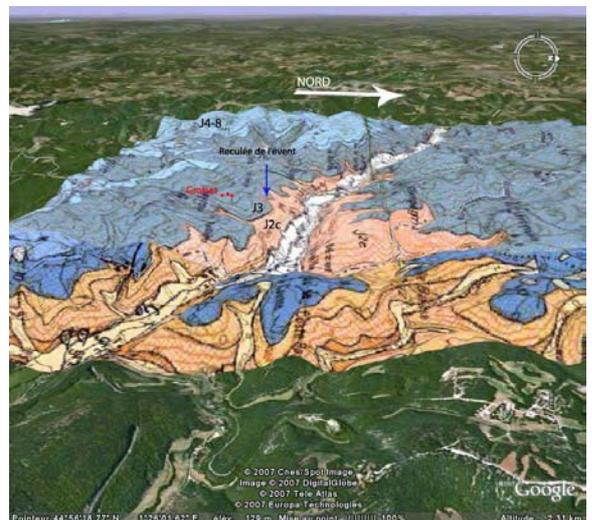


Photo G. Delpech, S. C. Souillac



Carte géologique autour de la vallée de la Borrèze (46-24)  
D'après BRGM / Google, par Gilles Palué du S. C. Périgueux



# **Détermination de l'origine des nitrates dans quelques sources karstiques des Causses du Quercy (Lot) par le traçage isotopique des sources d'azote BRGM**

## **Objectif**

Suite à un constat de pollution diffuse récurrente et à une augmentation des teneurs en nitrate sur certains captages du réseau qualitatif de gestion départementale localisés dans les systèmes karstiques des Causses du Quercy (46), la Mission Inter-Services de l'Eau du Lot (MISE), le Conseil Général du Lot et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne ont demandé au BRGM d'entreprendre une étude sur l'origine de ces contaminations nitratées.

- Quelle est l'origine de la pollution par les nitrates des eaux du secteur ( $\text{NO}_3 > 30$  mg/L)?
- Est-il possible de quantifier les proportions respectives des différentes origines de nitrate?

## **Financement**

MISE du Lot, CG46, AEAG, BRGM ? Soutien technique chambre d'agriculture

## **Déroulement de l'étude**

- caractérisation géologique et hydrogéologique des aquifères karstiques jurassiques
- étude des émergences représentatives du secteur
- recherche de l'origine de la contamination en nitrate de ces eaux abordée par une approche géochimique reposant sur l'utilisation des isotopes du milieu (isotopes de l'azote  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ , du bore  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ , du strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) couplée à une étude hydrogéochimique classique (par l'étude des éléments majeurs).

## **Phases du projet**

1<sup>ère</sup> phase oct 2002 - déc 2003 :

Suivi des 5 sources étudiées : caractérisation chimique et isotopique avec 4 campagnes de prélèvements en période de hautes et de basses eaux

Caractérisation géochimique et isotopique des sources potentielles de pollution : déjections de mouton, de canards, stations d'épuration et assainissement autonome, amendements minéraux.

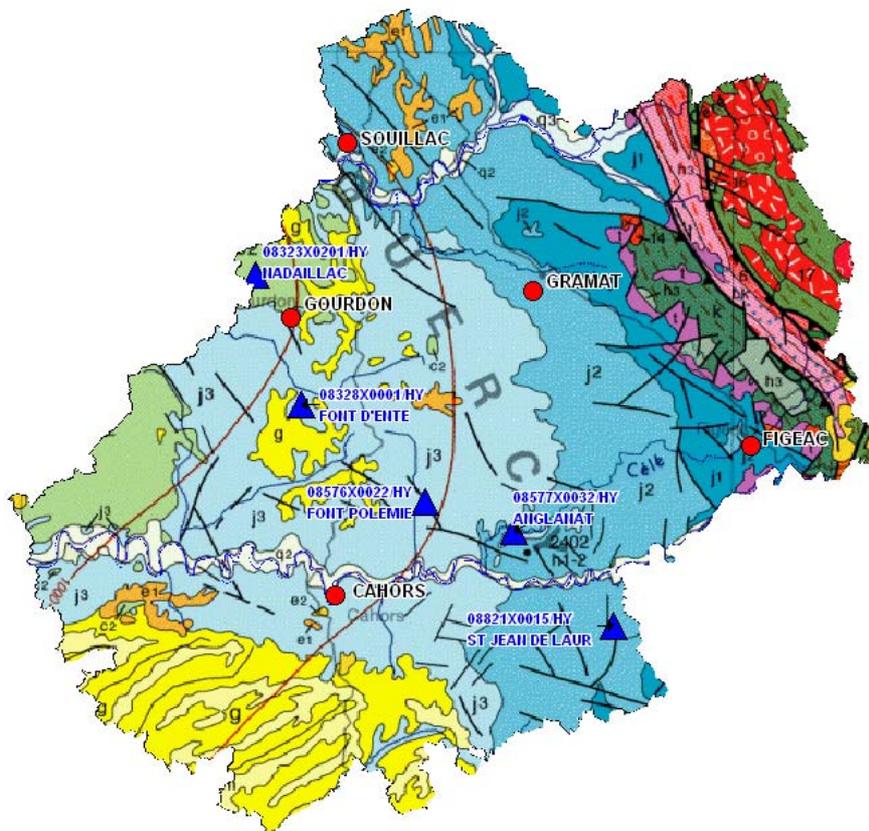
Mise en place de parcelles expérimentales pour caractériser les sources déjections canards et moutons.

2<sup>ème</sup> phase déc 2005- juin 2007 :

Suivi des 5 sources sur 2 campagnes basses eaux et hautes eaux

Caractérisation des eaux de pluie (fonction entrée du système),  
Caractérisation des sources engrais et lisiers de porc par prélèvements de sols dans des microparcelles agricoles

## Présentation des sources étudiées



		<b>Angranat</b>	<b>St Jean de Laur</b>	<b>Font Polémie</b>	<b>Font d'Ente</b>	<b>Nadaillac</b>
<b>Qualité des eaux</b>	<b>Pollution par NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Inexistante (source de référence)	Forte en été	Forte en été et hiver	Très forte en été	Très forte toute l'année
	<b>Pollution par PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Inexistante (source de référence)	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne à faible
<b>Occupation du sol / Pollutions potentielles</b>		Secteur boisé - Pas d'influence anthropique	Bourg en amont avec assainissement non collectif (puisards)	Cultures + porcherie en amont	Cultures	Cultures + STEP de Gourdon
<b>Enjeux associés</b>		Faibles (vu le débit peu important, malgré excellente qualité)	Très faibles (débit peu important et qualité moyenne)	Possibilité d'alimenter le syndicat de Francoules	Alimentation du SIAEP de Peyrilles	Alimentation de la commune de Gourdon
<b>Débits / Aire d'alimentation</b>		Faible (< 5 l/s)	Faible (< 5 l/s)	Moyen (5 < Q < 25 l/s)	Moyen (5 < Q < 25 l/s)	Fort (25 < Q < 80 l/s)
<b>Contexte géologique</b>		Karst du Quercy (Jurassique) - Sans couverture	Karst du Quercy (Jurassique) - Sans couverture	Karst du Quercy (Jurassique) - Sans couverture	Crétacé sous couverture	Crétacé sous couverture
<b>Qualité des informations recueillies</b>		Bonne	Moyenne	Moyenne à mauvaise	Mauvaise	Très bonne

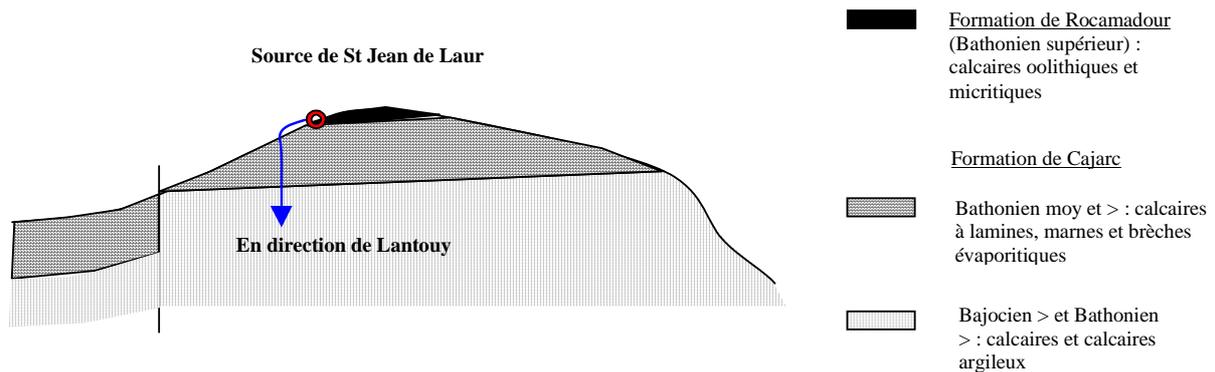
**SOURCE N°1 : ANGLANAT (08577X0032/HY)**

<b>Commune</b> : SAULIAC/ CELE	<b>Bassin</b> : CELE
<b>Coordonnées L2E</b> : X : 548 961,7 - Y : 1 946 614,3 – Z : 143	<b>Type de source / Géologie</b> : Emergence – Source karstique des Causses du Quercy  Dogger, des calcaires oolithiques à subcrazeux de l'Oxfordien aux marnes, calcaires du Callovien basal
<b>Entité hydrogéologique</b> : QUERCY	<b>Débit</b> : < 5 l/s
<b>Qualité des eaux</b> : Excellente (Source de référence)  NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : Excellente – Stable PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> : Excellente – Stable Contamination bactériologique ponctuelles	<b>Utilisation</b> : Néant
<b>Occupation du sol</b> : Bois et Landes	<b>Qualité de l'information</b> : Bonne



**SOURCE N°2 : SAINT JEAN DE LAUR (08821X0015/HY)**

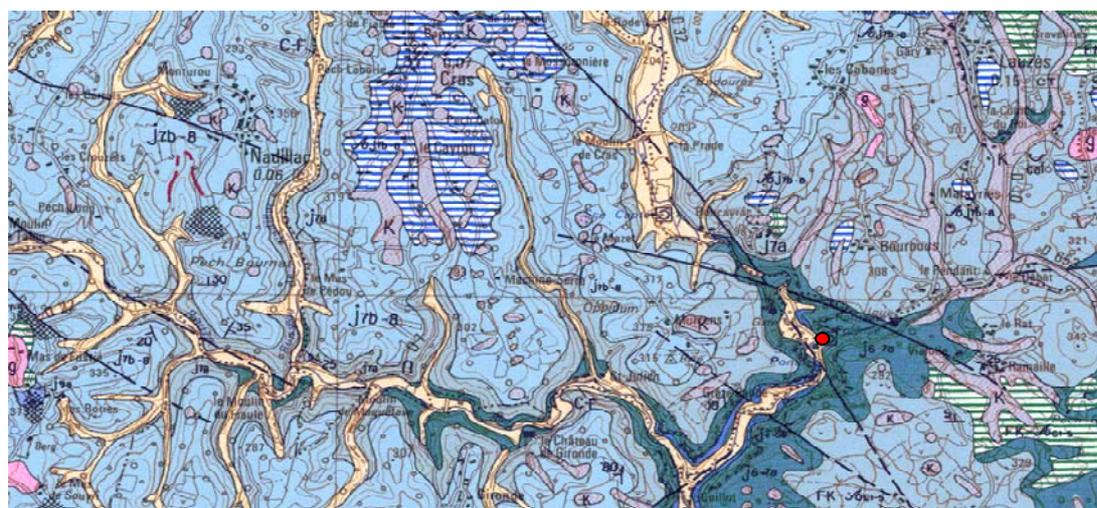
<b>Commune :</b> ST JEAN DE LAUR	<b>Bassin :</b> LOT
<b>Coordonnées L2E :</b> X : 560 016,9 - Y : 1 935 890,9 – Z : 290	<b>Type de source / Géologie :</b> Emergence – Source karstique des Causses du Quercy  Source jaillit à la base d'une falaise rocheuse du <b>Bathonien supérieur (Dogger)</b> , constituée de calcaires en plaquettes et en dalles, surmontés de massifs calcaires de teinte grisâtres, sensibles à la karstification.
<b>Entité hydrogéologique :</b> QUERCY	<b>Débit :</b> < 5 l/s
<b>Qualité des eaux :</b> <b>Source contaminée par les NO3-</b>  NO3- : > 25 mg/l en été PO43- : > 0,5 mg/l en été et hiver	<b>Utilisation :</b> Néant
<b>Occupation du sol :</b> Bourg avec assainissement autonome (puisards), herbages et landes	<b>Qualité de l'information :</b> Moyenne



**Source possible de pollution : eaux usées domestiques (puisards du bourg)**

**SOURCE N°3 : FONT POLEMIE (08576X0022/HY)**

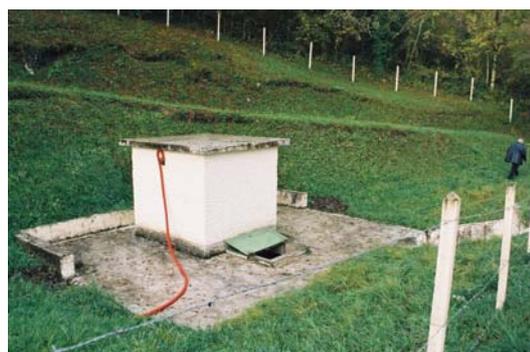
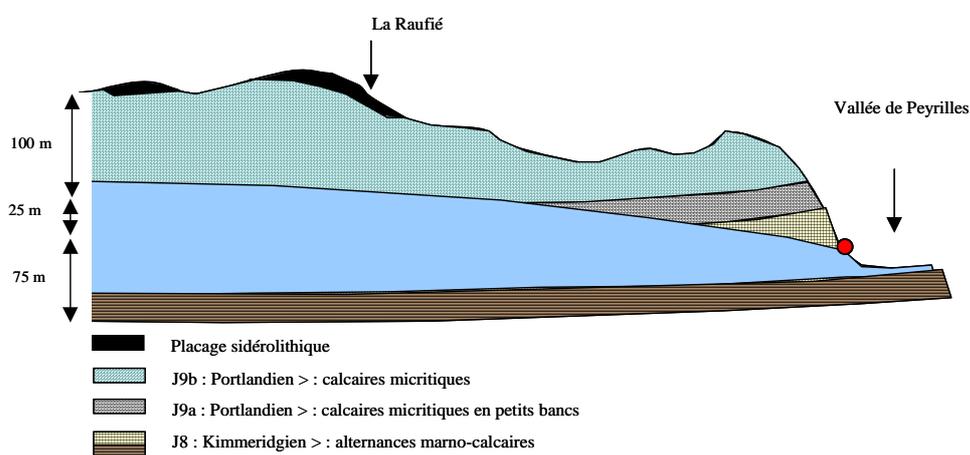
<b>Commune</b> : CABRERETS	<b>Bassin</b> : VERS - LOT
<b>Coordonnées L2E</b> : X : 538 936,12 - Y : 1 949 879,19– Z : 190	<b>Type de source / Géologie</b> : Perte / Résurgence – Source karstique des Causses du Quercy Exutoires de l'aquifère karstique développé dans la formation de Cras et de Vers ( <b>Oxfordien à Kimméridgien inférieur</b> ), constituées de brèches à cailloux noirs surmontés par des brèches polygéniques
<b>Entité hydrogéologique</b> : QUERCY	<b>Débit</b> : 5 – 25 l/s
<b>Qualité des eaux</b> : <b>Source contaminée par les NO3-</b>  NO3- : > 25 mg/l en été PO43- : > 0,1 mg/l toute l'année	<b>Utilisation</b> : Possibilité d'alimenter le SIAEP de Francoules
<b>Occupation du sol</b> : Cultures + porcherie en amont	<b>Qualité de l'information</b> : Moyenne à mauvaise



**Source de pollution potentielle : engrais minéraux, lisier de porc, engrais organique**

## SOURCE N°4 : FONT D'ENTE (08328X0001/HY)

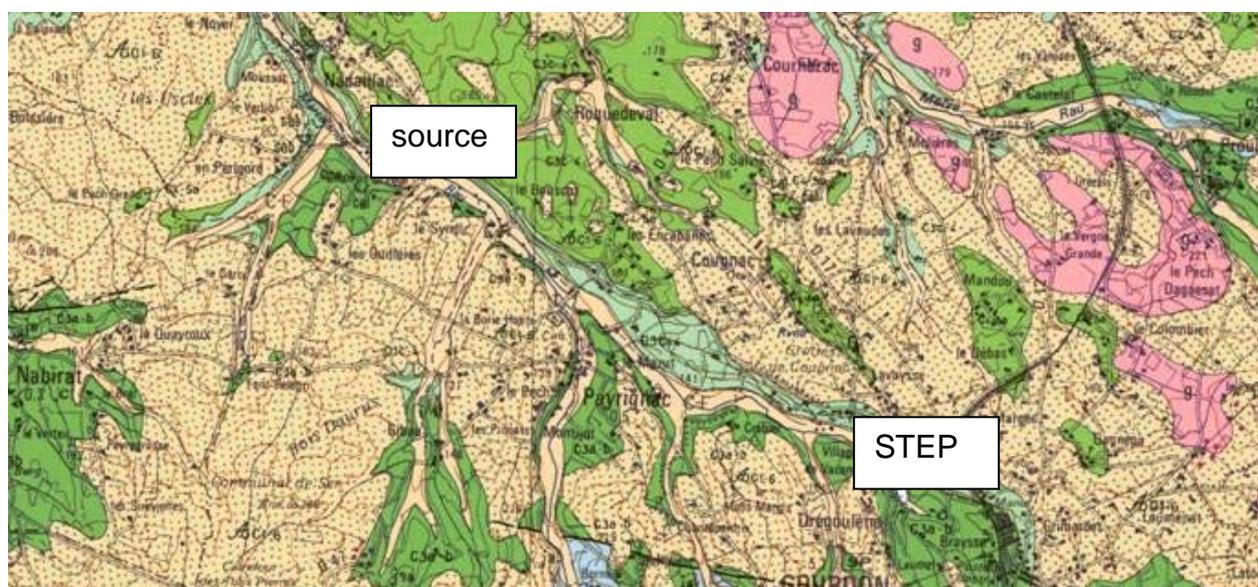
<b>Commune</b> : PEYRILLES	<b>Bassin</b> : DORDOGNE
<b>Coordonnées L2E</b> : X : 525 001,16 - Y : 1 960 784,18 – Z : 190	<b>Type de source / Géologie</b> : Emergence – Source karstique Les eaux sont captées, au-dessous d'un mince placage superficiel de castine, dans le sommet du Kimmeridgien supérieur, constitué de calcaires légèrement marneux.
<b>Entité hydrogéologique</b> : AGENAIS ET QUERCY	<b>Débit</b> : 5 – 25 l/s
<b>Qualité des eaux</b> : <b>Source contaminée par les NO3-</b>  NO3- : > 30 mg/l en été PO43- : > 0,1 mg/l toute l'année	<b>Utilisation</b> : Alimentation du SIAEP de Peyrilles
<b>Occupation du sol</b> : Cultures	<b>Qualité de l'information</b> : Mauvaise



**Source de pollution potentielle : engrais minéraux, organiques liés aux cultures**

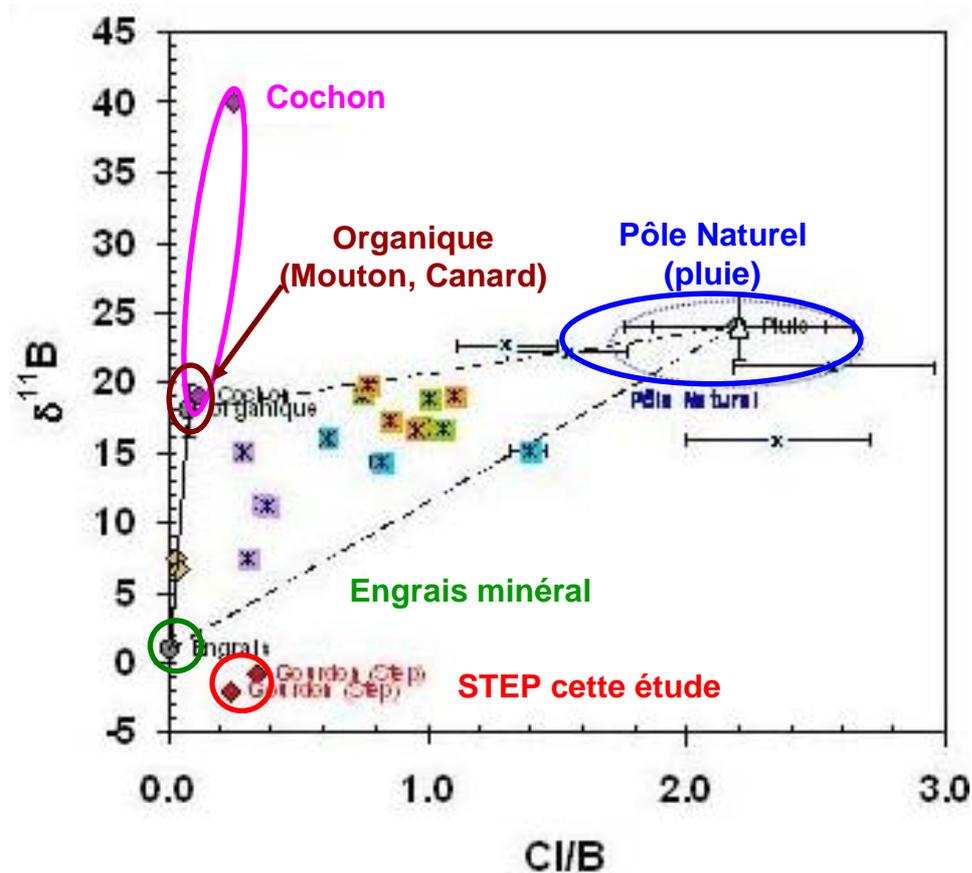
**SOURCE N°5 : NADAILLAC (08323X0201/HY)**

<b>Commune</b> : PAYRIGNAC	<b>Bassin</b> : DORDOGNE
<b>Coordonnées L2E</b> : X : 519 957,22 - Y : 1 975 506 – Z : 130	<b>Type de source / Géologie</b> : Emergence – Source karstique (Crétacé avec couverture)
<b>Entité hydrogéologique</b> : AGENAIS ET QUERCY	<b>Débit</b> : 25 – 80 l/s
<b>Qualité des eaux</b> : Source contaminée  NO3- : > 30 mg/l toute l'année PO43- : > 0,1 mg/l en été et hiver	<b>Utilisation</b> : Alimentation de la commune de Gourdon
<b>Occupation du sol</b> : Cultures + Station d'épuration de Gourdon	<b>Qualité de l'information</b> : Très bonne



**Source de pollution potentielle : engrais minéraux, organiques liés aux cultures, Station d'épuration**

## Résultats obtenus

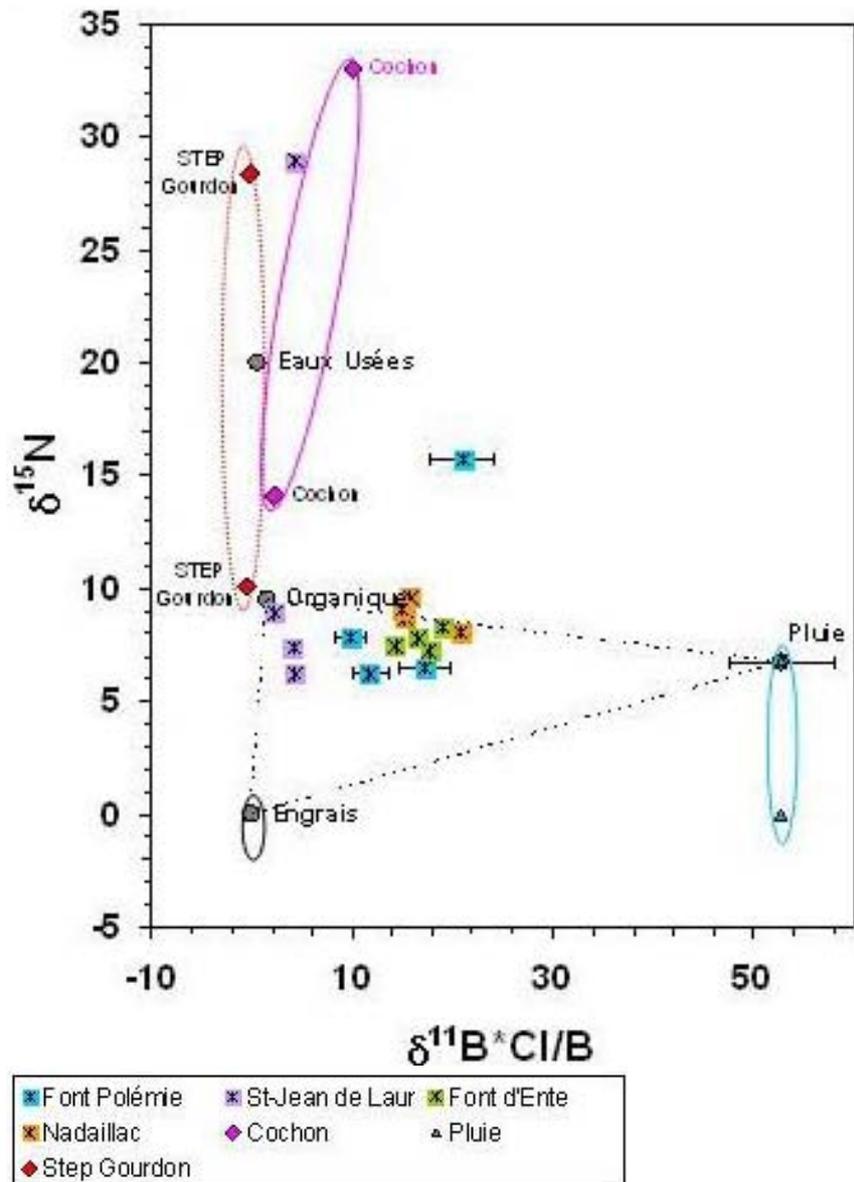


✱	Fort Polémie
✱	St-Jean de Laur
✱	Font d'Erte
✱	Nadaillac
◆	Cochon
◆	Gourdon (rejet Step)
△	Pluie (cette étude)
◇	Solution de sol 50 cm de profondeur
*	Anglanat

La signature sur les sources étudiées peut être expliquée comme le résultat d'un mélange entre 3 pôles :

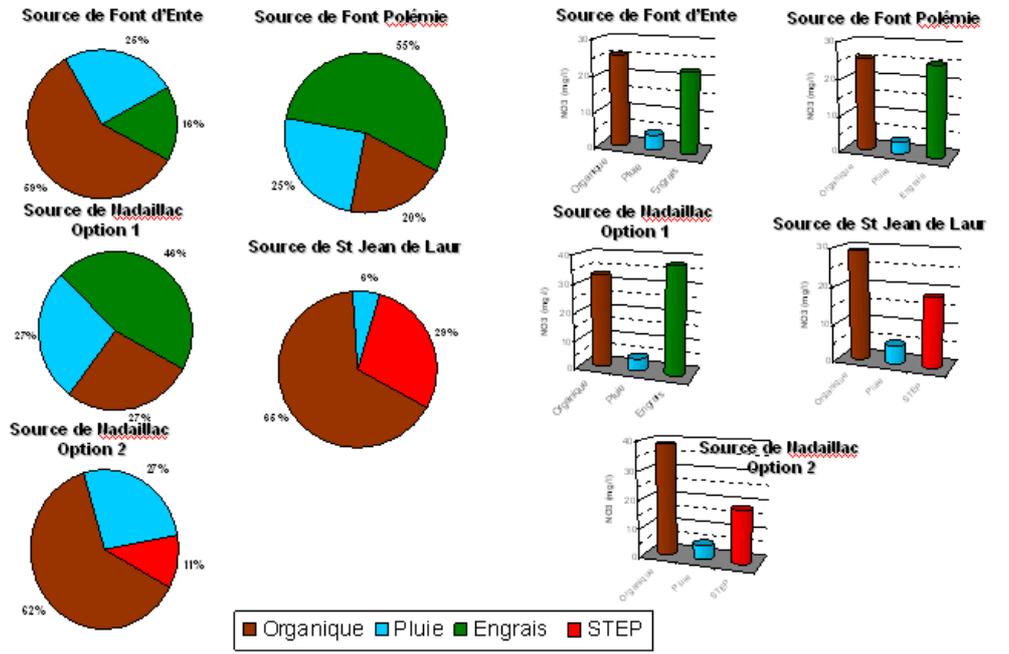
- naturel (recharge par les pluies efficaces)
- organique
- STEP, eaux usées domestiques et/ou engrais

**Les isotopes du Bore ne permettent pas de distinguer la signature eaux usées d'une signature engrais.**

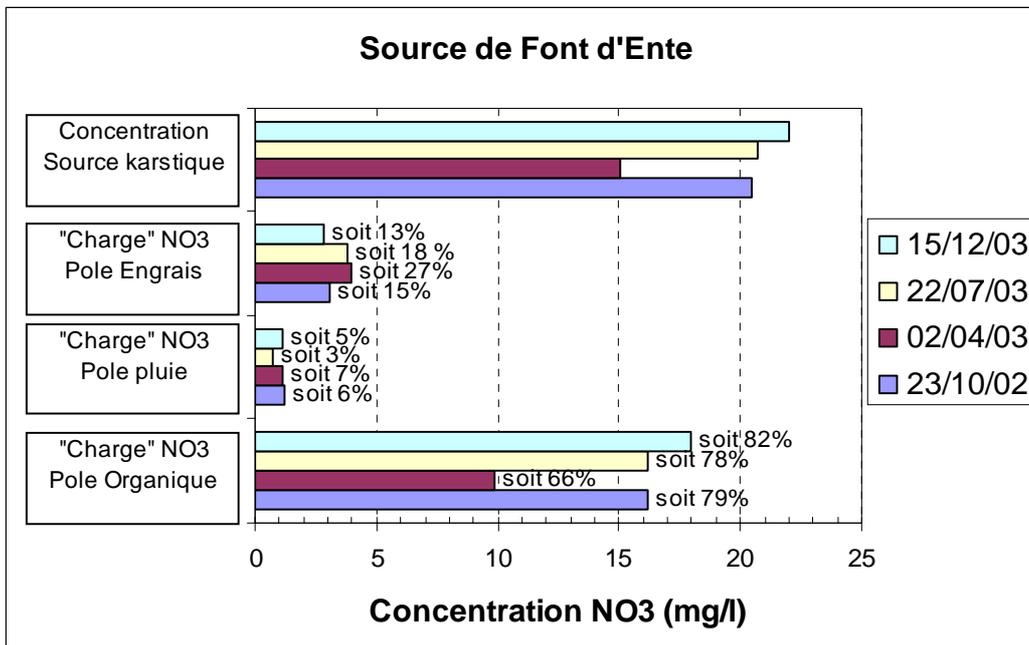


Pour identifier les sources de pollution il faut prendre en considération les informations acquises par le rapport isotopique du nitrate en complément du rapport isotopique du bore.

## Synthèses des Quantification des contributions relatives des composantes des systèmes karstiques



### Exemple sur un suivi hydrologique



### Références

Ladouche B., Ghyselinck M. avec la collaboration de L. Chery (2004) - Détermination de l'origine des nitrates dans quelques sources karstiques du Causse du Quercy (LOT). Rapport BRGM/RP- 53114-FR

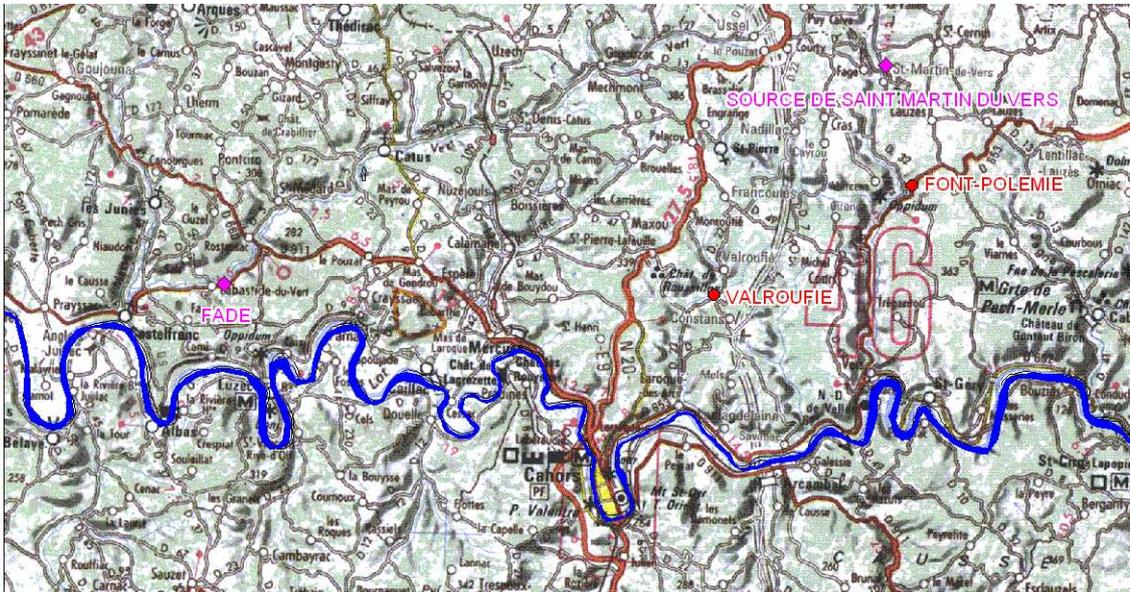
Ladouche B. et M. Saplaïroles (2008) – Détermination de l'origine des nitrates dans quelques sources des Causses du Quercy par traçage isotopique des sources d'azote. Phase 2 : acquisition de données complémentaires sur les sources potentielles de pollution azotées. BRGM/RP-56167-FR.

# Estimation du temps de séjour par étude isotopique des eaux de deux sources karstiques des Causses du Quercy : source de la FADE (Labastide du Vert) et de St Martin de Vers

Mélanie Bardeau

BRGM - Service Géologique Régional de Midi-Pyrénées - 3, rue Marie Curie - Bât ARUBA - BP 49 – 31 527 RAMONVILLE SAINT AGNE CEDEX - m.bardeau@brgm.fr

L'étude présentée ci-après vise à déterminer le temps de séjour et le fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines émergeant aux sources de la FADE (Labastide du Vert) et de Saint Martin du Vers, en s'appuyant sur les résultats obtenus sur les sources de Valroufié (Belle-Font) et de Font Polémie, utilisées comme références.



Carte de localisation des sources étudiées – Extrait de la carte topographique au 1/250 000ème de l'IGN

Les deux sources étudiées présentent en effet des températures nettement supérieures, de l'ordre de 4-5°C aux autres sources karstiques du secteur, ce qui permet de s'interroger sur une origine profonde des eaux d'alimentation. Ces investigations sont réalisées dans un souci d'amélioration de la connaissance patrimoniale de la ressource.

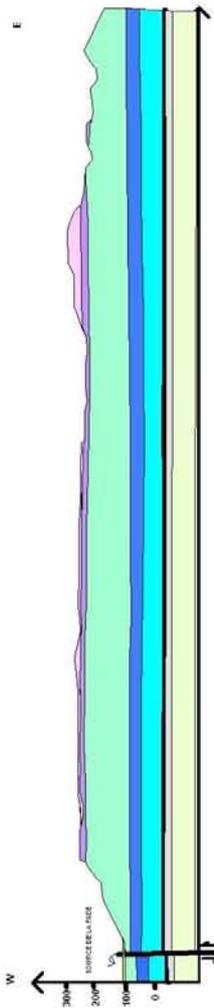
Deux campagnes de prélèvements ont été effectuées sur les quatre sources en période de basses eaux et hautes eaux afin de caractériser les faciès physico-chimiques et isotopiques de ces eaux.

L'analyse des résultats chimiques et isotopiques permet de conclure sur le fonctionnement hydrogéologique de ces sources :

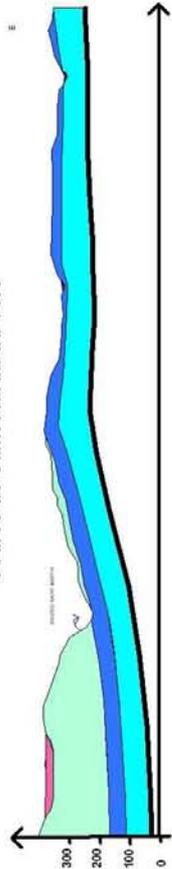
- Les eaux de la source de la Fade proviennent de l'aquifère développé dans les brèches polygéniques de la formation de Cras (Oxfordien supérieur à Kimméridgien basal) ou dans les calcaires oolithiques massifs de la formation de Vers. .
- La source de Saint Martin de Vers est également alimentée par l'aquifère des brèches polygéniques. Ce niveau est un peu moins profond dans ce secteur que dans celui de Labastide du Vert, ce qui explique la température légèrement plus froide de ces eaux.
- La source de Valroufié n'est pas alimentée par un aquifère libre développé dans le Kimméridgien supérieur ou dans les alluvions, comme l'hypothèse de départ le prévoyait, mais par l'aquifère des brèches polygéniques. Il est cependant fort probable que ces eaux soient mélangées à des eaux infiltrées dans les marno-calcaires sus-jacents. Les fortes teneurs en sulfates et en chlorures observées depuis 2004 peuvent avoir une origine anthropique ou naturelle.
- La source de Font Polémie est également alimentée par l'aquifère des brèches polygéniques de la formation de Cras, fortement karstifié dans le secteur et peu protégé des pollutions de surface.

Les quatre sources étudiées sont donc issues de l'aquifère développé dans les brèches polygéniques de la formation de Cras (Oxfordien à Kimméridgien inférieur). Cependant, le contexte géologique local et la présence ou non d'une couverture semi-imperméable influence la température des eaux et leur vulnérabilité aux pollutions de surface.

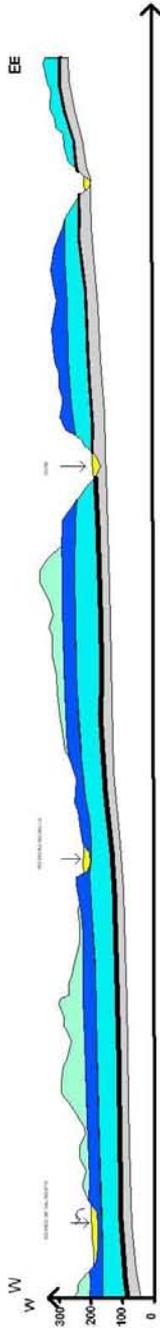
Source de la FADE (Labastide du Vert)



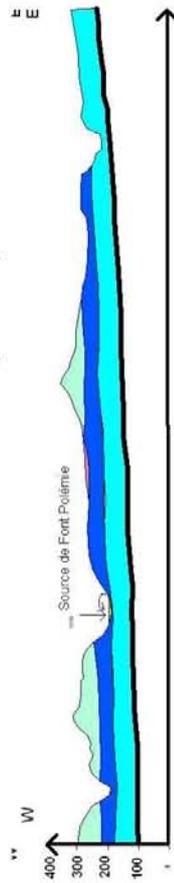
Source de Saint Martin du Vers



Source du Valroufié (Font-Belle)



Source de Font Polémie (Cabrerets)



- K : Remplissage de doline et cailloutis des vallées sèches suspendues
- FK : Remplissage paléokarstiques, alérites (roche-mère : Crétacé) - sables, argiles sableuses et argiles
- J9b : Portaindien élevé (Formation de Cazals) - Dolomites à lamination parallèle  
Calcaire micritique en bancs, dolomies cristallines
- J9a : Portaindien basal (formation de Peyrilles) : Calcaires micritiques en petits bancs à joints ondulés
- J7b-8 ou J8 : Kimmériidgien supérieur : alternance marno-calcaires
- J7a ou J7 : Kimmériidgien inférieur (formation de Cras) : Calcaire micritique bioturbé
- J6-7a ou J7 : Oxfordien (brèches à cailloux noirs de Vers) à Kimmériidgien inférieur (Formation de Cras : brèches polygéniques)
- J4-5b : Oxfordien (formation de Vers) : Calcaires micritiques
- J4-5a : Oxfordien (formation de Saint Gery) : calcaires oolithiques massifs

**QUALITÉ des EAUX SOUTERRAINES**

**APPORTS de la MESURE en CONTINU**

**de PARAMÈTRES-GUIDES**

**(niveau, température au 1/100°C,  
conductivité électrique, turbidité, nitrates)**

**André TARRISSE - Patrick HANNOYER**

Depuis 1984, la DDAF du LOT enregistre en continu, au pas de 6 mn, sur la station de référence de la Font Del Pito, vallée du Célé - commune de ST SULPICE, les paramètres-guides : température et conductivité électrique.

Si au début, les enregistrements se faisaient sur support papier, depuis 1992 ceux-ci sont devenus numériques. Progressivement les alimentations électriques, réalisées initialement à partir du réseau EDF, ont fait place à une alimentation autonome sur batteries de forte capacité.

Par ailleurs, le nombre de paramètres mis en observation (niveau, turbidité, nitrates) s'est accru. La précision des mesures s'est affinée, avec des enregistrements de température au 1/100°C, et un suivi continu de la température interne des cabines abritant les équipements électroniques.

Cette démarche n'est pas nouvelle puisque dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle de nombreux hygiénistes pratiquaient déjà des mesures de résistivité et température sur les eaux souterraines (cf. compte rendu de l'Académie des Sciences).

En ce qui nous concerne, au fil du temps, dans le département du Lot, nous avons mis en place un certain nombre de stations.

Au niveau des points d'eau importants : Fontaine des Chartreux, sources de Soturac, les collectivités distributrices d'eau, de leur côté, se sont équipées de systèmes de mesures, qu'il y a lieu de calibrer fréquemment, au minimum tous les mois. Ces équipements sont, pour elles, des dispositifs techniques d'autocontrôle. Bien étalonnés régulièrement, ils peuvent devenir de précieux outils de connaissance des systèmes karstiques concernés.

Pour l'établissement des périmètres de protection des captages AEP, ces équipements de mesures sont de précieux auxiliaires pour apprécier, au niveau de l'exutoire, la vulnérabilité globale du système karstique étudié. En effet, ici, nous faisons appel à un principe simple, à savoir l'utilisation de la pluie comme traceur naturel.

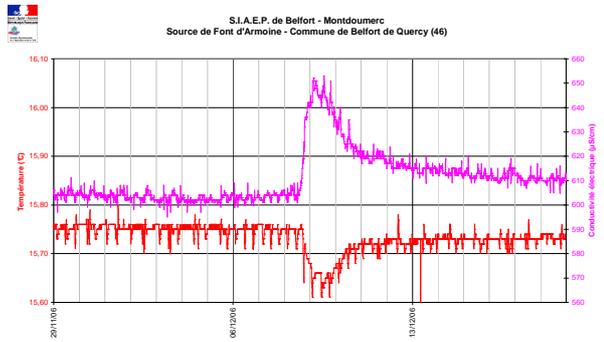
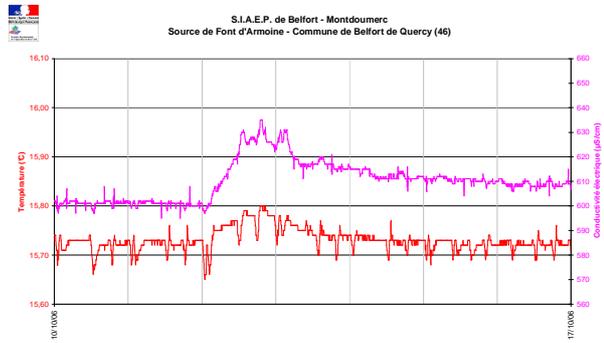
A une émergence karstique où la qualité des eaux varie peu, on a de fortes raisons de penser que globalement le système karstique est peu vulnérable aux pollutions accidentelles. En revanche, par effet cumulatif, il pourra être fortement vulnérable aux pollutions diffuses et, en particulier, un suivi au fil du temps des nitrates devra être mis en place et réalisé.

Quand on travaille avec un réseau de mesures, il devient possible de procéder à des analyses comparées de données puisque celles-ci ont été acquises au cours d'un même cycle hydrologique.

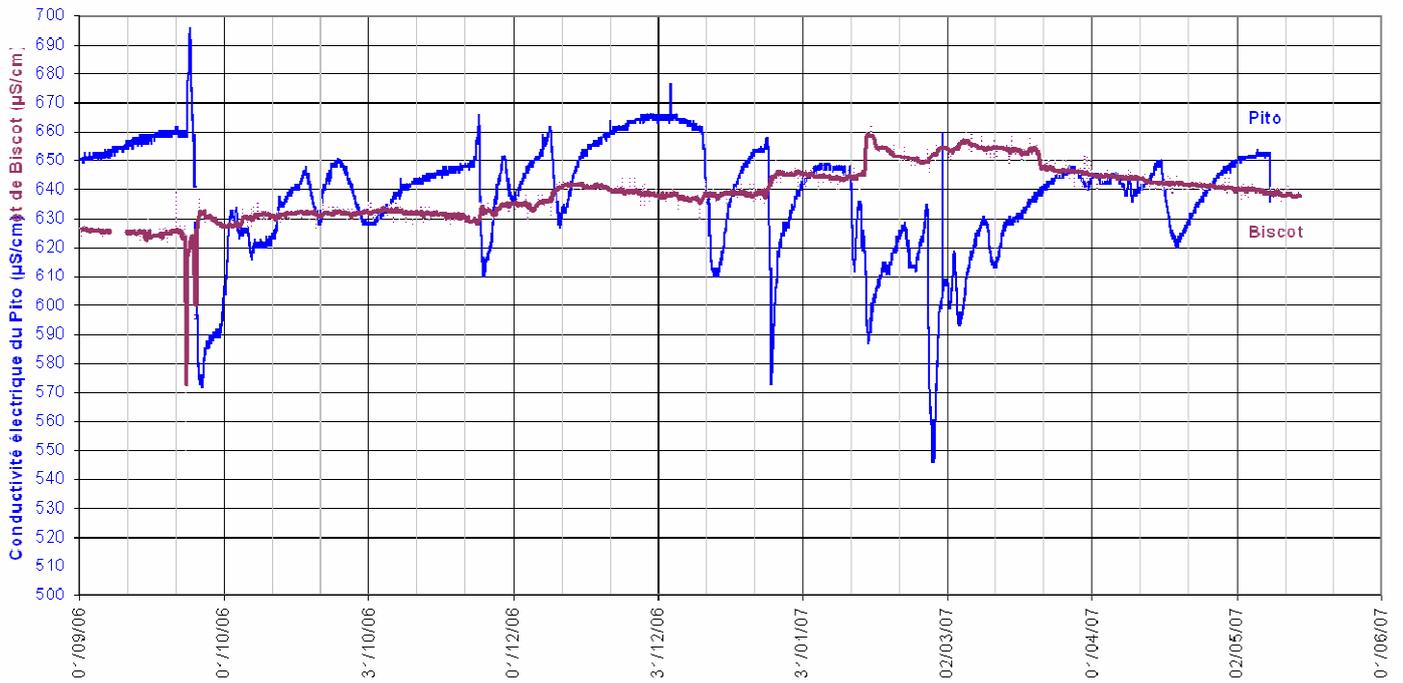
Par ailleurs, avec cette technique simple, sur les captages AEP alimentés à partir d'eaux relativement profondes ( $T^{\circ}$  inférieure à  $20^{\circ}\text{C}$ ), lors de l'établissement des périmètres de protection, il devient possible de préciser, de façon simple et sûre, l'existence de mélanges avec des eaux superficielles ou subprofondes, susceptibles d'être facilement contaminées bactériologiquement ou par apports de nitrates, de phytosanitaires et autres polluants.

**Service d'Ingénierie d'Appui Territorial**  
**Unité Hydrogéologie et Ressources en Eau**  
**25 avril 2008**

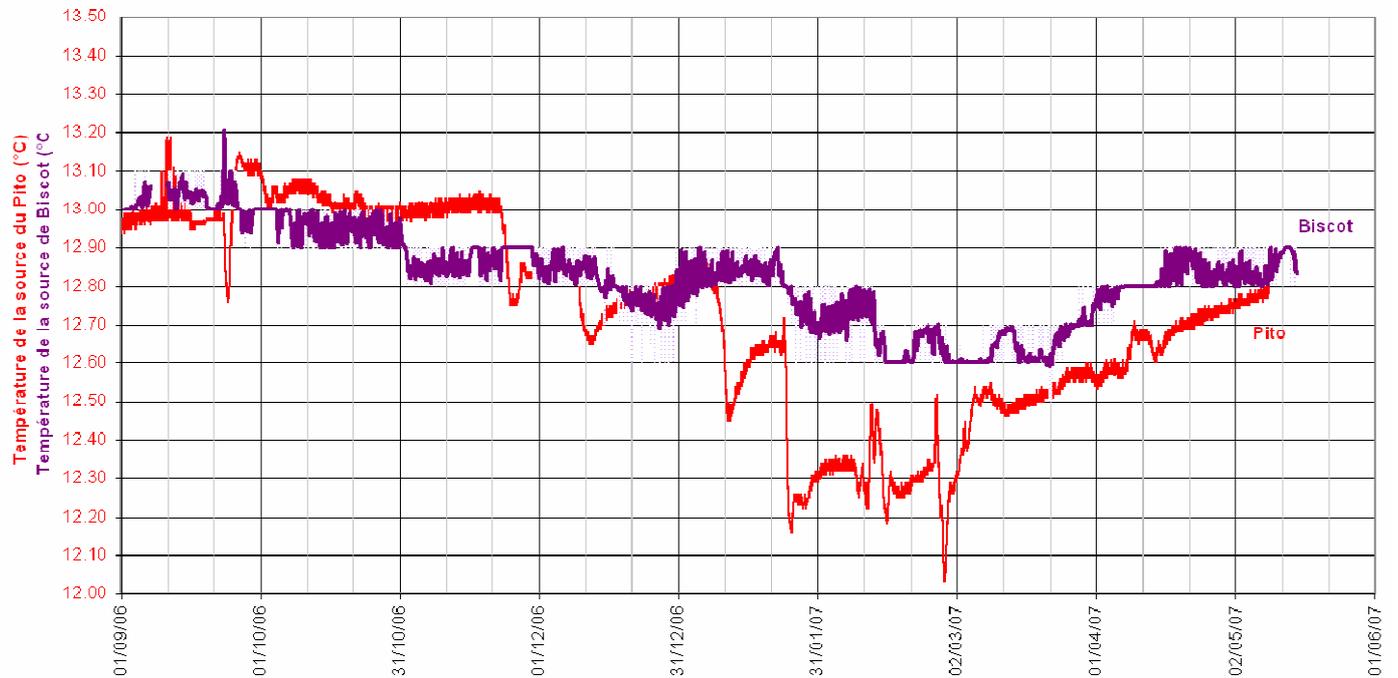
**Mini station de suivi de la qualité des eaux**

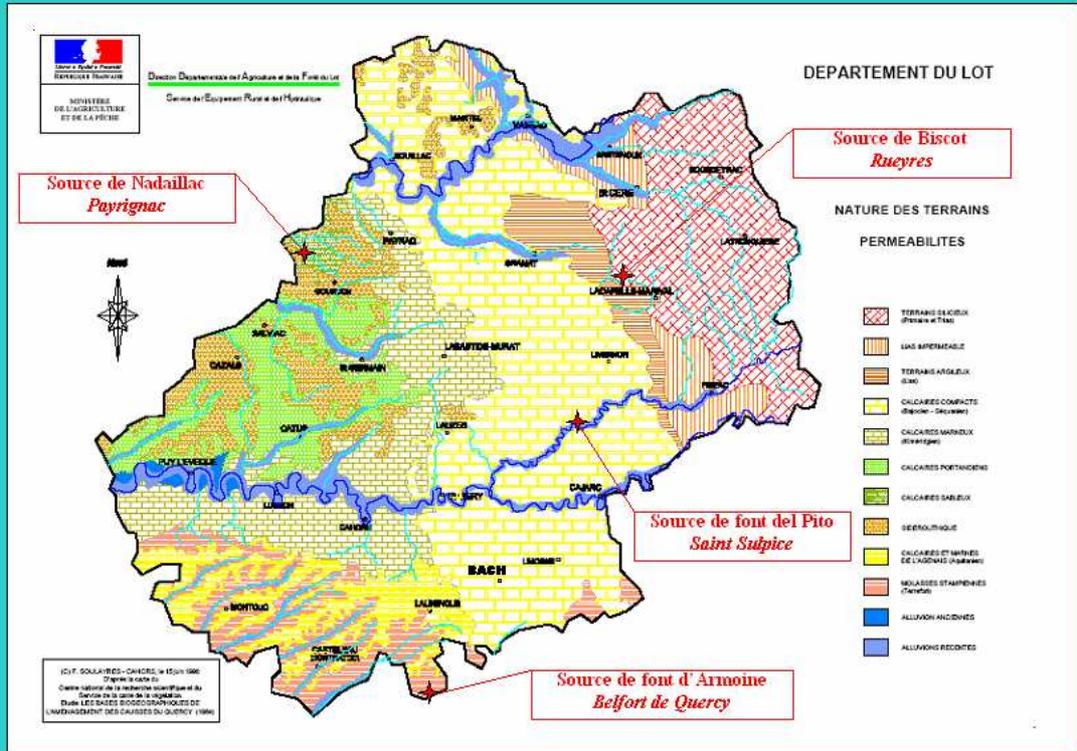


Source du Pito - Commune de Saint Sulpice (46)  
 Source de Biscot - Commune de Rueyres (46)

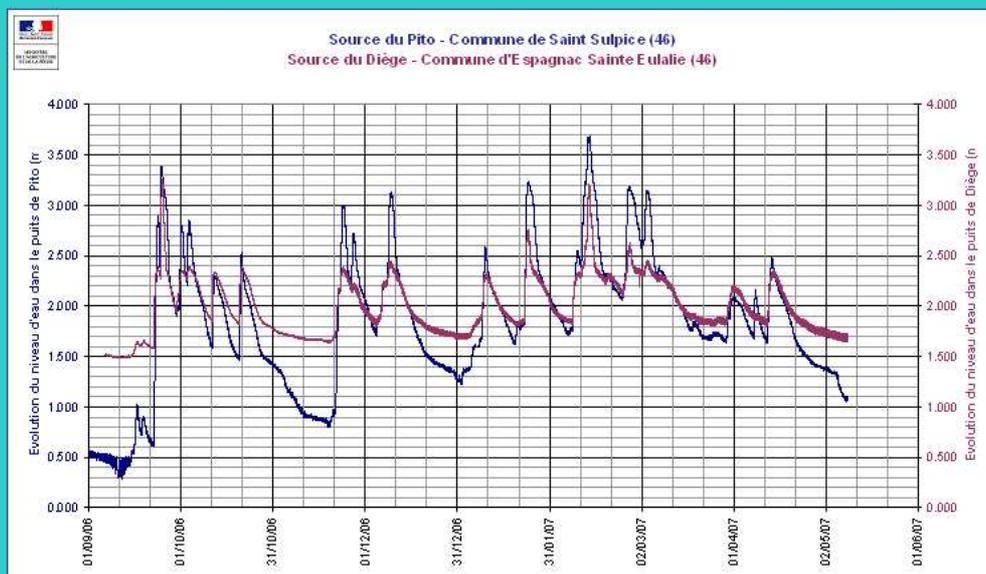


Source du Pito - Commune de Saint Sulpice (46)  
 Source de Biscot - Commune de Rueyres (46)



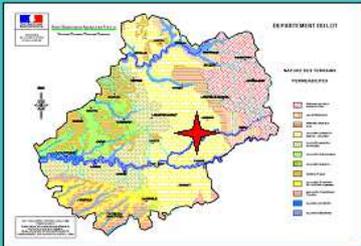


**Sur les limnigrammes,**  
on remarque une plus forte réactivité aux précipitations de la source de  
Font Del Pito. Le système du Diège est légèrement plus inertiel.





## Source captée de la Font del Pito pour l'A.E.P. du Syndicat du Causse sud de Gramat



Cet exutoire karstique présente une très forte variabilité des débits et de sa qualité des eaux, lors de crues.

**Ce CAPTAGE est TRES VULNERABLE aux POLLUTIONS**



Equipement de la source  
de Biscot



Equipement de la source du Pito

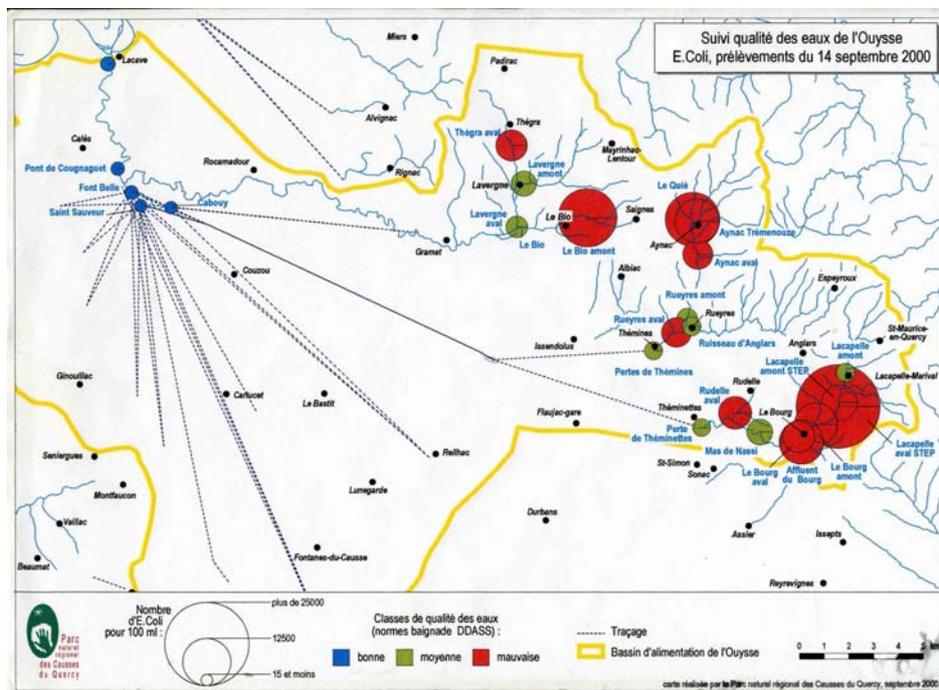


# Point sur la connaissance et la protection des eaux souterraines du Causse de Gramat, réflexion sur un réservoir partagé

Joël Trémoulet, hydrogéologue au Parc naturel régional des Causses du Quercy  
rue petite, BP 10 46 240 LABASTIDE-MURAT - jtremoulet@parc-causses-du-quercy.org

L'eau en Quercy est depuis la préhistoire le sujet de mythes et l'objet de soins tout particuliers. Aujourd'hui plus de 80% de l'eau potable distribuée dans le département du Lot provient d'émergences karstiques. A l'importance sanitaire d'une qualité satisfaisante de l'eau s'ajoute un fort enjeu économique lié au tourisme et aux activités aquatiques.

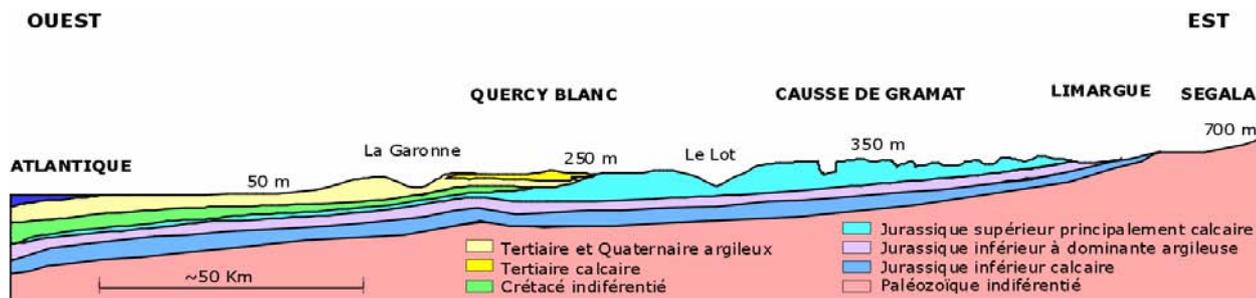
Mais paradoxalement la connaissance du fonctionnement de ces circulations souterraines reste encore trop partielle. Pourtant, 6 collectivités distribuent l'eau potable issue d'émergences situées sur tout le pourtour du Causse de Gramat (9 captages).



Carte de la bactériologie sur l'Ouyse en septembre 2000

## Le Causse de Gramat, un aquifère encore trop peu connu

Le Causse de Gramat (Jurassique Aalarien à Kim. Inf.) est bordé à l'est par le Limargue (Lias), au nord et au sud par les vallées de la Dordogne et du Célé et à l'ouest par les terrains marno-calcaires (kimméridgien supérieur) dans le secteur de Labastide-Murat et de la vallée du Vers.



Coupe géologique du bassin d'Aquitaine d'après J. G. Astruc et T. Pélissier

Sur les terrains imperméables du Limargue, des ruisseaux s'écoulent vers l'ouest (influence du pendage) pour atteindre la ligne de contact du Causse. Là, ces eaux acides disparaissent dans des gouffres tels que les spectaculaires pertes du Pournel, d'Assier, de Théminettes, d'Issendolus (...) typiques des Causses du Quercy.

Les eaux de pluie infiltrées semblent parfois réutiliser des paléocirculations indépendantes des gradients actuels. Les belles résurgences situées dans les vallées sont souvent de type vaclusien, parfois à proximité ou dans les rivières (ex. du Ressel à Marcilhac/Célé) rendant difficile toute mesure de débit.

Pour schématiser, le Causse de Gramat est un karst binaire dont presque toutes les « sorties » sont utilisées pour l'alimentation en eau potable.

Sur la moitié nord, les eaux convergent vers 3 principales émergences situées à proximité de Rocamadour : Cabouy, Saint-Sauveur et Font-Belle. Il existe en outre des liens hydrauliques entre elles prouvés par les concentrations en sulfates issues des eaux du Limargue. Ce système constitue une unité hydrogéologique, l'Ouyse souterraine étendu sur environ 600 km<sup>2</sup>.

Sur la moitié sud, environ 400 km<sup>2</sup>, c'est presque une dizaine de systèmes karstiques individualisés qui acheminent leurs eaux vers les émergences du Célé et du Vers.

Des colorations et des traçages réalisés par les services de l'Etat, puis lors de la création de l'autoroute A20 ainsi que l'exploration spéléologique, ont permis de mieux comprendre les liaisons entre les pertes et les résurgences. Mais cette connaissance concerne surtout le système de l'Ouyse.

Sur la partie sud du Causse de Gramat, aucune rivière souterraine importante n'a encore été découverte comme à Padirac, Labastide-Murat ou sur le Causse de Limogne.

La DDAF du Lot (A. Tarrisse), en colorant les pertes de Cambes, Reyrevignes, Assier et St Simon, a prouvé néanmoins la relation des ruisseaux du Limargue aux résurgences de Boussac, Corn, Espagnac, Saint-Sulpice (Cf. ci-dessous).

Actuellement, en délégation de maîtrise d'ouvrage des Syndicats d'Alimentation en eau Potable, le Parc naturel régional des Causses du Quercy réalise des investigations hydrogéologiques apportant sa pierre à l'édifice.

Une première phase de cette étude réalisée en 2005 a permis, grâce à la réalisation de la coloration des eaux souterraines de 3 gouffres, d'améliorer partiellement la connaissance (Cf. carte ci-dessous).

Une nouvelle campagne de multi-traçage a été menée au printemps dernier.



**Photo 1 : Injection de la fluorescéine dans une doline de Quissac**



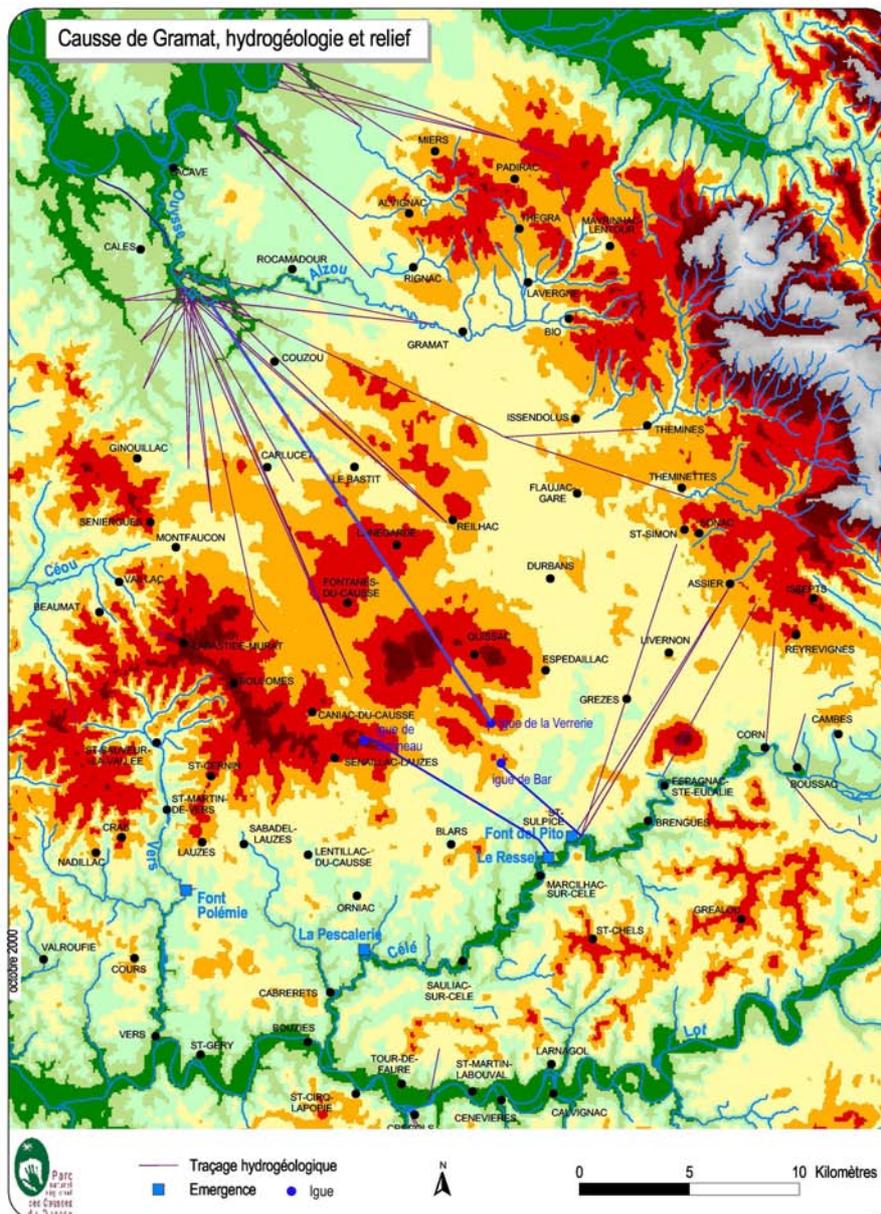
**Photo 2 : Traçage de l'igüe de Bonneau (sorti au Ressel, Marcilhac-sur-Célé)**

## Des résultats surprenants ouvrant de nouvelles perspectives

Les résultats obtenus, s'ils ne dévoilent qu'une partie du mystère, offrent d'ores et déjà une meilleure connaissance de la répartition des eaux sur la partie sud du Causse de Gramat. La limite sud précédemment supposée de l'Ouyse souterraine est modifiée mais reste à être précisée sur le secteur de Durbans.

Un travail de cartographie de la vulnérabilité (travaux en partenariat avec Université Pierre et Marie Curie et l'Agence de l'Eau Adour Garonne) a aussi été mené et devrait être complété par un inventaire des pressions potentielles sur la partie sud du Causse de Gramat afin de quantifier l'aléa sur la ressource.

De plus, un suivi continu des captages est en cours d'installation (font Polémie, Pescalerie) pour compléter les suivis en cours (paramètres guides au Pito par la DDEA depuis 1984 et qualité à la Pescalerie et à Anglana par le CG46 depuis 2000) pour mieux appréhender le fonctionnement et l'évolution de ces systèmes karstiques.



Carte relief du Causse de Gramat avec les résultats de la campagne de traçage de 2005



Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac



Commune de Payrignac - Lot



## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac Commune de Payrignac - Lot

Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Lot  
Service de l'Équipement Rural et de l'Hydraulique – Cellule Hydrogéologie  
André TARRISSE – Patrick HANNOYER - 13 octobre 2005



Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac



Commune de Payrignac - Lot



### CAPTAGE A.E.P. DE LA VILLE DE GOURDON SOURCE DE NADAILLAC - LOT

INFLUENCE DE LA VIDANGE DU PLAN D'EAU  
DU BOURG DE PAYRIGNAC  
SUR LA QUALITE DE L'EAU DE LA SOURCE DE NADAILLAC

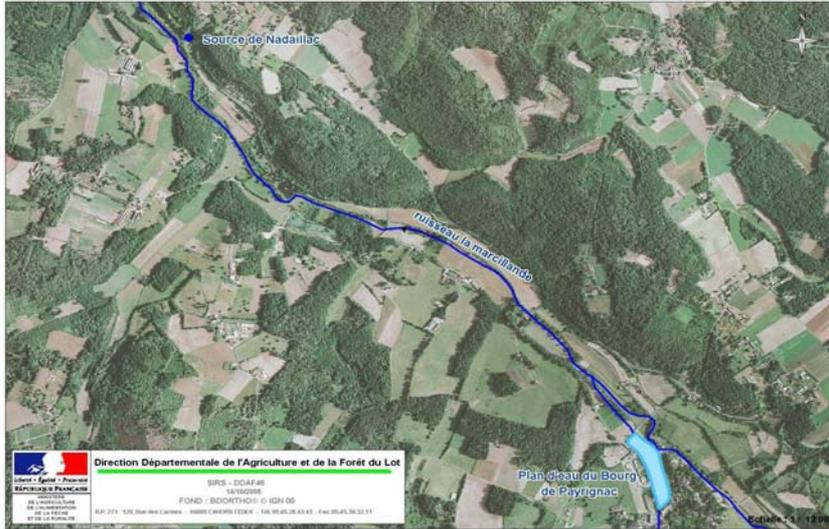




MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA PÊCHE

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

Commune de Payrignac - Lot



Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Lot  
SIRS - DDAF46  
147020000  
FOND : BDORTHOI © IGN 00  
SIR 219 420, Rue des Carrières - 46000 CAGNAC-VAL - Tél. 05.45.26.41.41 - Fax 05.45.26.22.11



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA PÊCHE

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

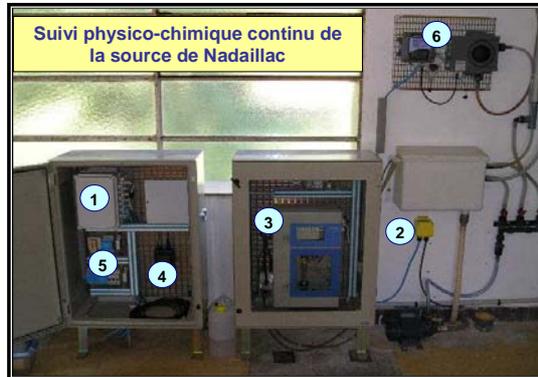
Commune de Payrignac - Lot



Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Lot  
SIRS - DDAF46  
147020000  
FOND : BDORTHOI © IGN 00  
SIR 219 420, Rue des Carrières - 46000 CAGNAC-VAL - Tél. 05.45.26.41.41 - Fax 05.45.26.22.11

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

Commune de Payrignac - Lot



- 1 - Centrale d'acquisition de données CR2M (5 voies)
- 2 - Capteur de pression Paratronic CNR (niveau de l'eau dans le puits mesuré au cm)
- 3 - Analyseur de nitrates en continu DATALINK
- 4 - Conductimètre WTW (conductivité électrique mesurée au  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- 5 - Thermomètre (mesure de la température au centième de °C)
- 6 - Turbidimètre LANGE (turbidité mesurée au dixième de FNU)

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

Commune de Payrignac - Lot



Ouverture de la vidange du plan d'eau du bourg de Payrignac  
7 octobre 2005 - 14H05



Plan d'eau du bourg de Payrignac avant vidange  
6 octobre 2005 – 13H45



Plan d'eau du bourg de Payrignac pendant vidange  
10 octobre 2005 – 11H00



La Marcillande en aval immédiat du plan d'eau  
7 octobre 2005 – 13H30



La Marcillande en aval immédiat du plan d'eau  
7 octobre 2005 – 14H25



### La Marcillande au pont du Syndic



7 octobre 2005 – 16H35



7 octobre 2005 – 16H40



7 octobre 2005 – 17H00



10 octobre 2005 – 11H30



### La Source de Nadaillac



6 octobre 2005 – 14H30

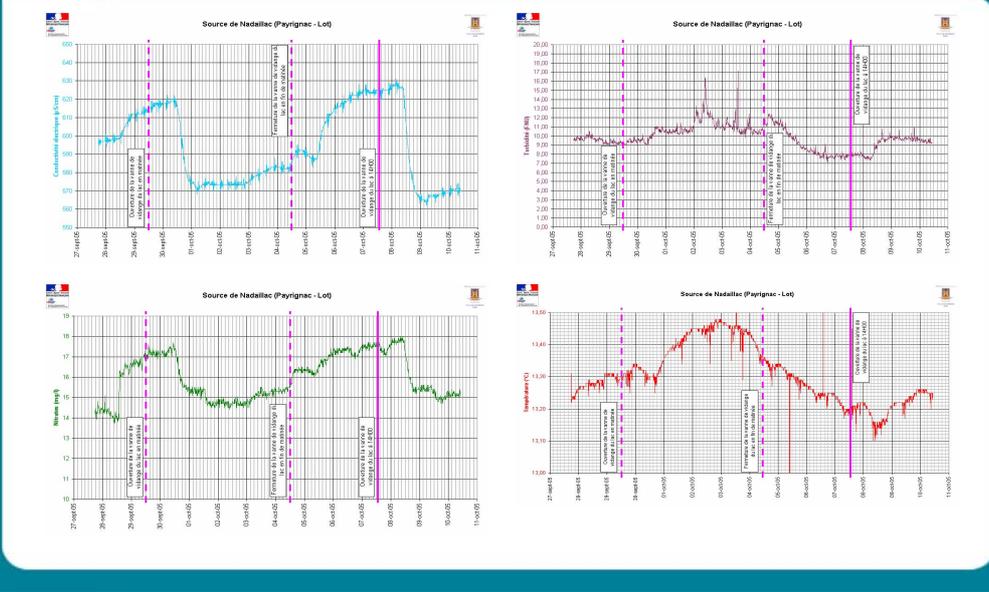


10 octobre 2005 – 12H00



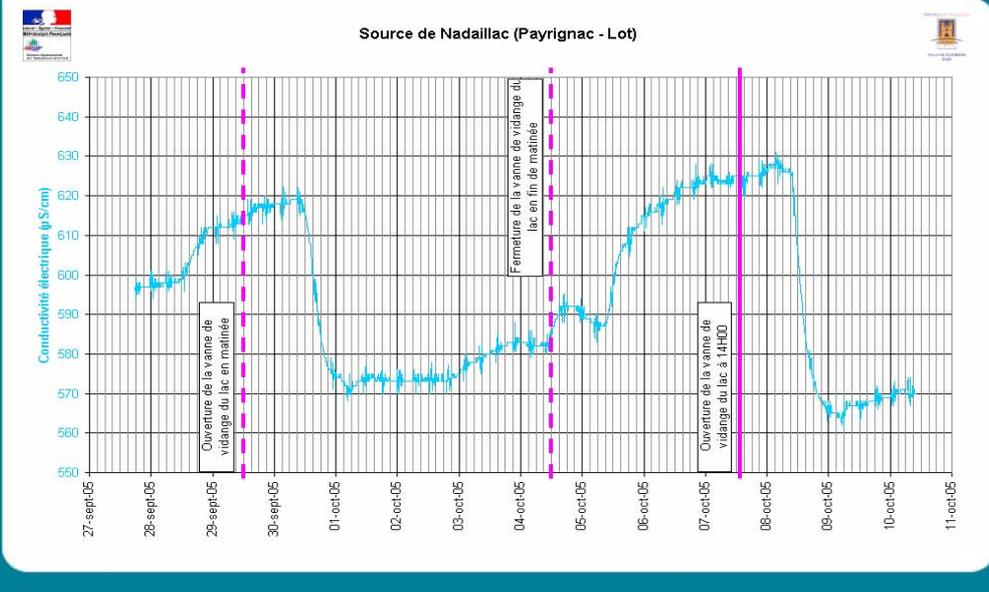
## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

Commune de Payrignac - Lot



## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

Commune de Payrignac - Lot

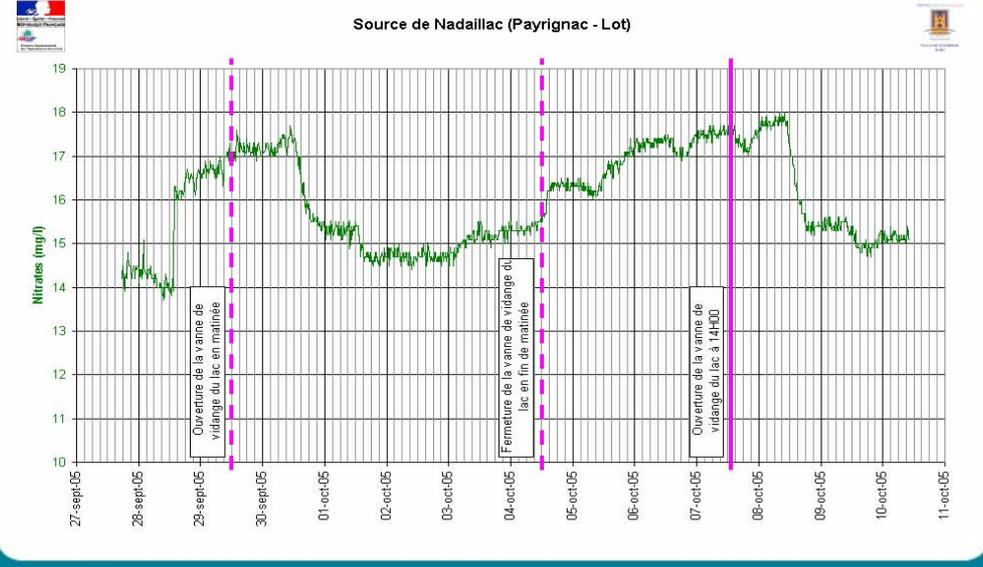




## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

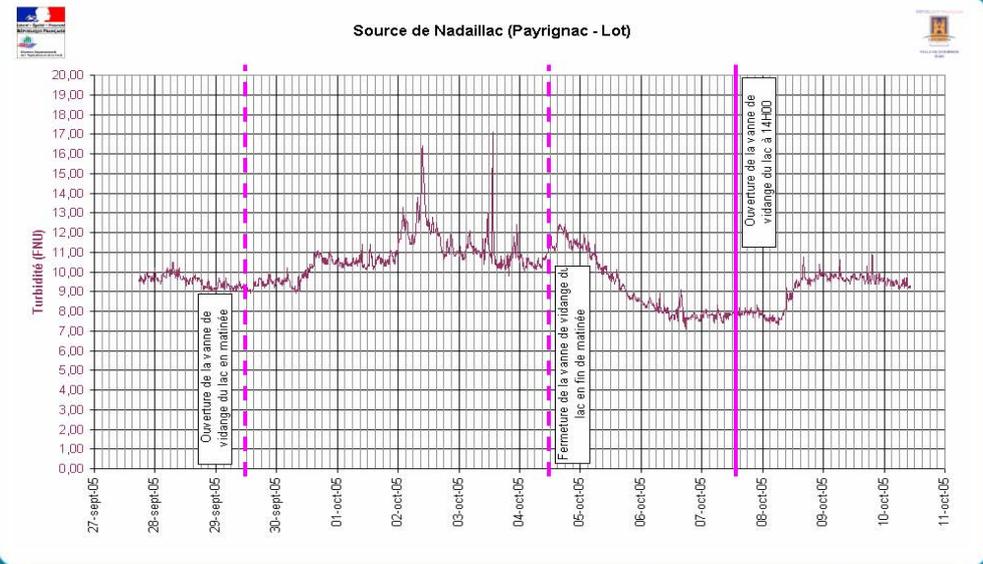
### Commune de Payrignac - Lot



## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

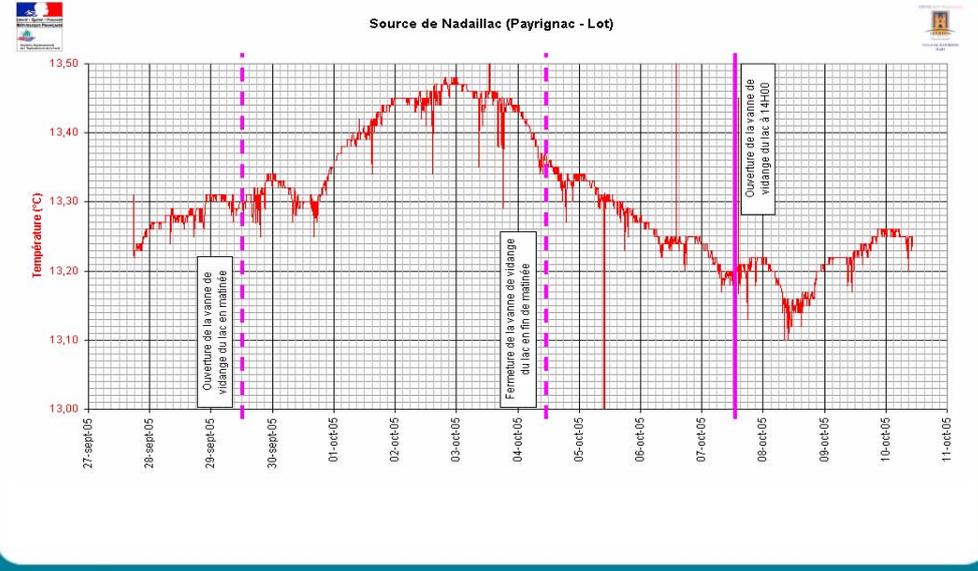
### Commune de Payrignac - Lot





MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA PÊCHE

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac Commune de Payrignac - Lot



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA PÊCHE

## Suivi de la qualité des eaux de la source de Nadaillac Commune de Payrignac - Lot



**7 octobre 2005 à 14H00 →**

ouverture de la vanne de vidange du plan d'eau du bourg de Payrignac

**8 octobre 2005 à 07H30 →**

(Soit après 17 heures et 30 minutes)

Augmentation de la turbidité à la source de Nadaillac (turbulence de l'onde provoquée par le lâcher d'eau)

**8 octobre 2005 à 11H00 →**

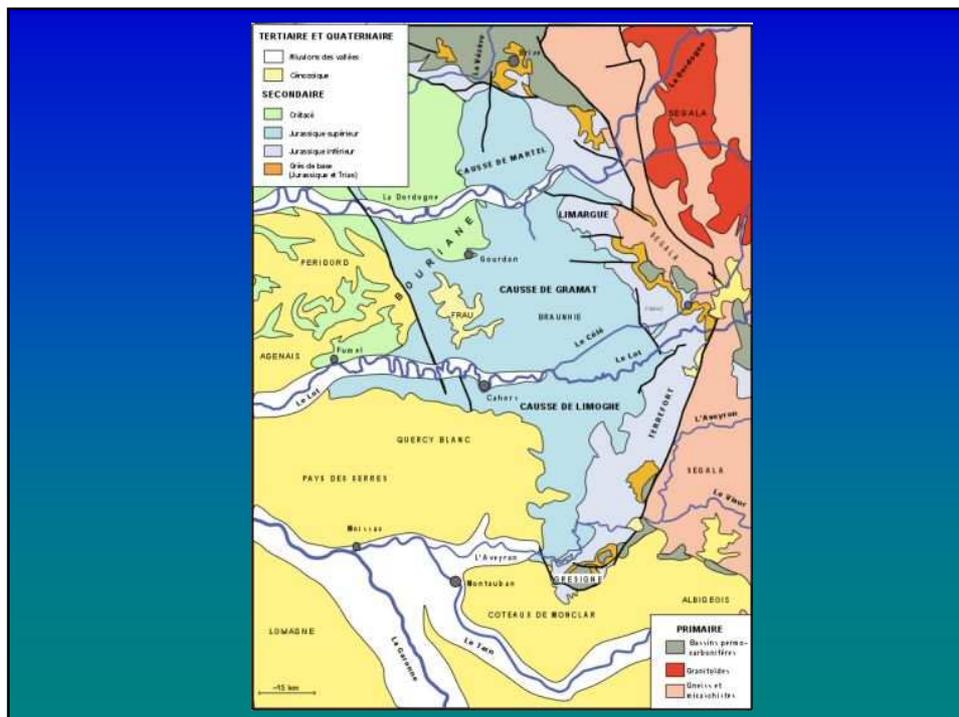
(Soit après 21 heures)

Modification de la qualité de l'eau de la source de Nadaillac : baisse de la conductivité électrique et des teneurs en nitrates (arrivée des eaux du lac du bourg de Payrignac)

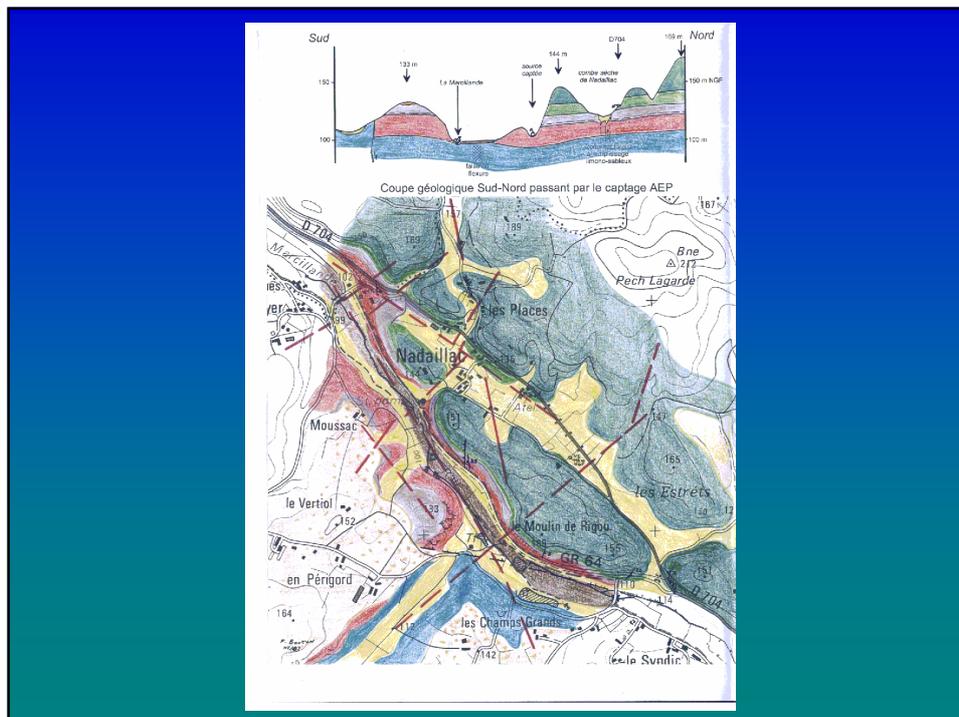
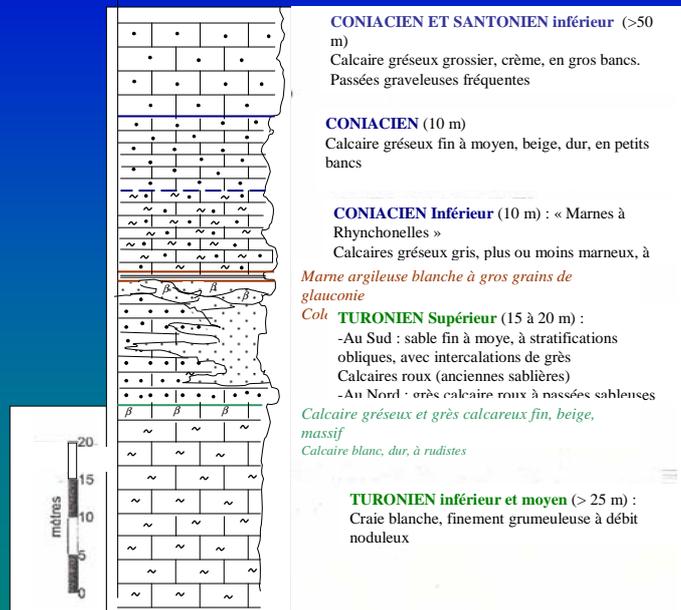
FONCTIONNALITES HYDRODYNAMIQUES  
ET HYDRO PHYSICO-CHIMIQUES  
DES KARSTS SABLEUX DU GOURDONNAIS LOTOIS

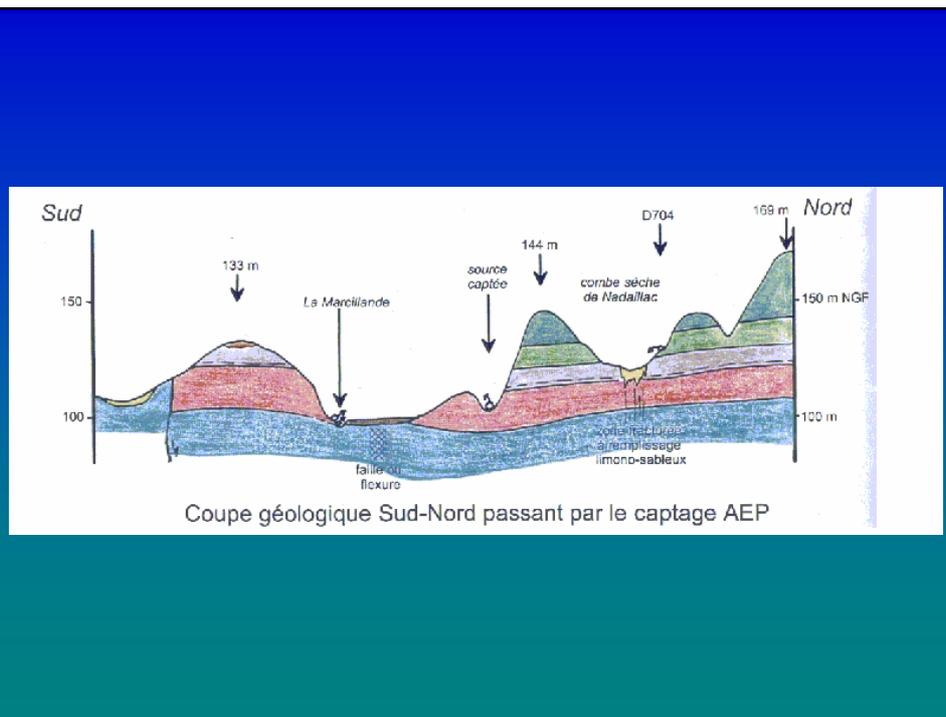


Captage A.E.P. de la source de Nadaillac  
Commune de Payrignac - Lot



## Log géologique synthétique dans le secteur de NADAILLAC – Commune de PAYRIGNAC



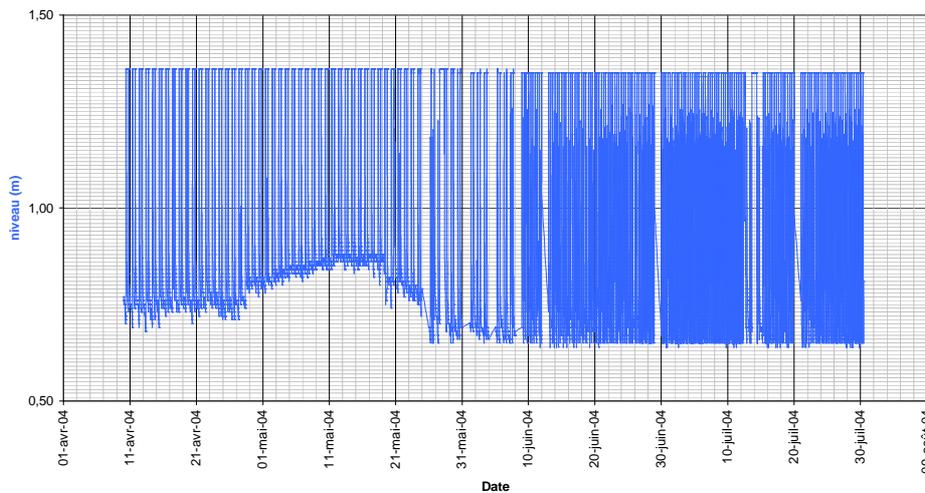


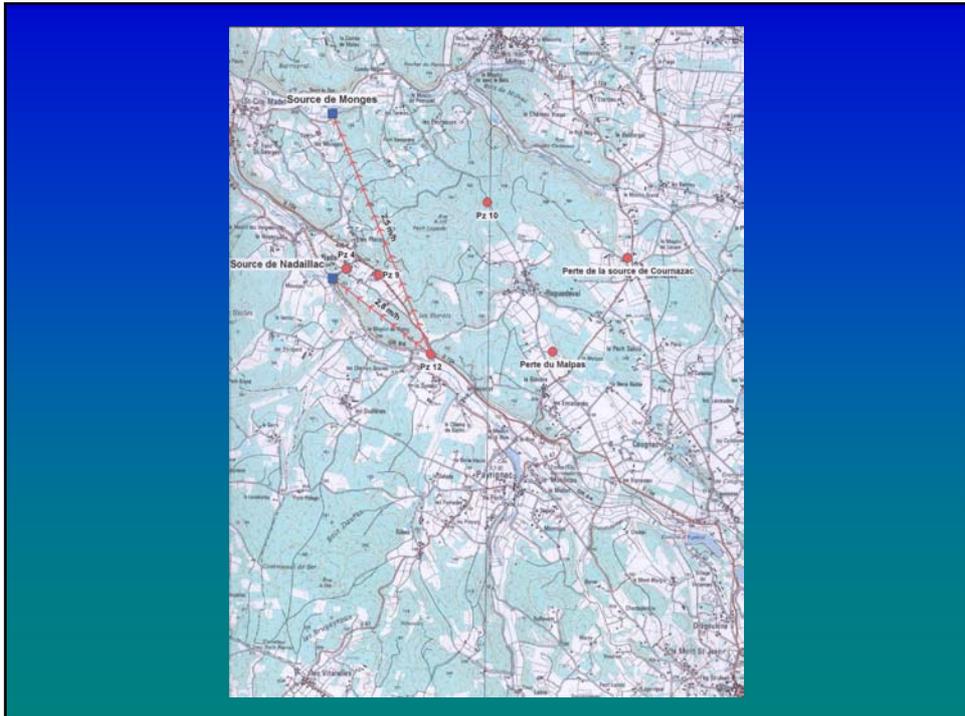
## FONCTIONNALITE HYDRODYNAMIQUE

### Suivi à la source de Nadaillac



Captage A.E.P. de Nadaillac - Commune de Gourdon  
Traitement des données : D.D.A.F. 46





## A/ FONCTIONNALITE HYDRODYNAMIQUE

1 – Evolution temporelle des débits de la source de Nadaillac au cours d'un cycle hydrologique :

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \approx 1$$

2 – Vitesses apparentes des écoulements noyés, déterminées par traçage à l'éosine :

$$V_{\text{app}} = 2,5 \text{ à } 2,8 \text{ m/h (en hautes et moyennes eaux)}$$



3 - Conclusion :

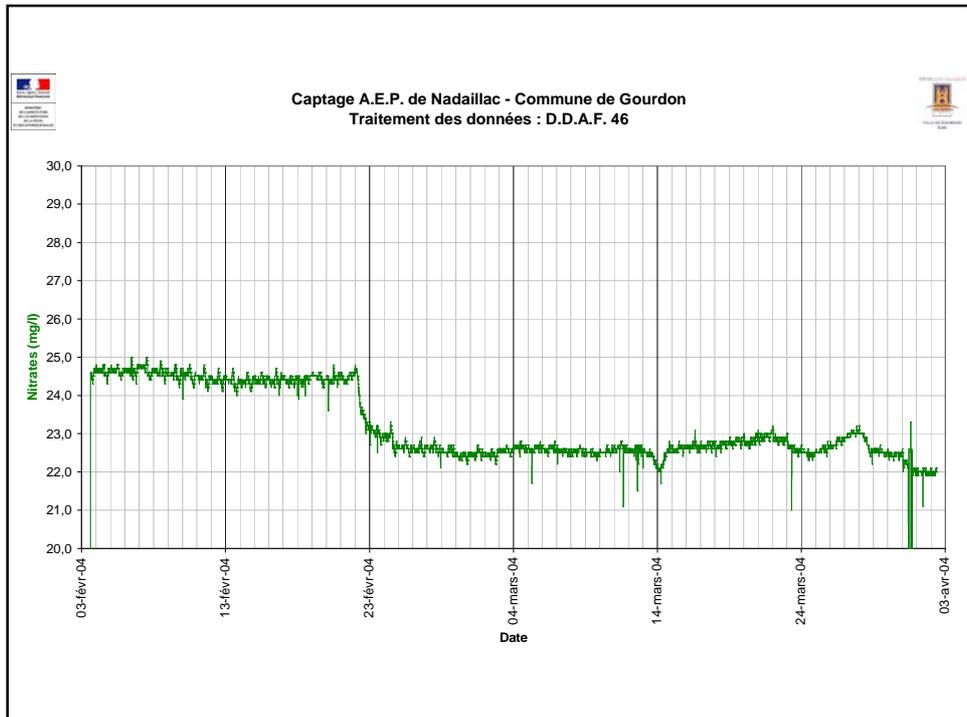
Fonctionnalité hydrodynamique apparente faible : (karst a priori peu vulnérable aux pollutions)

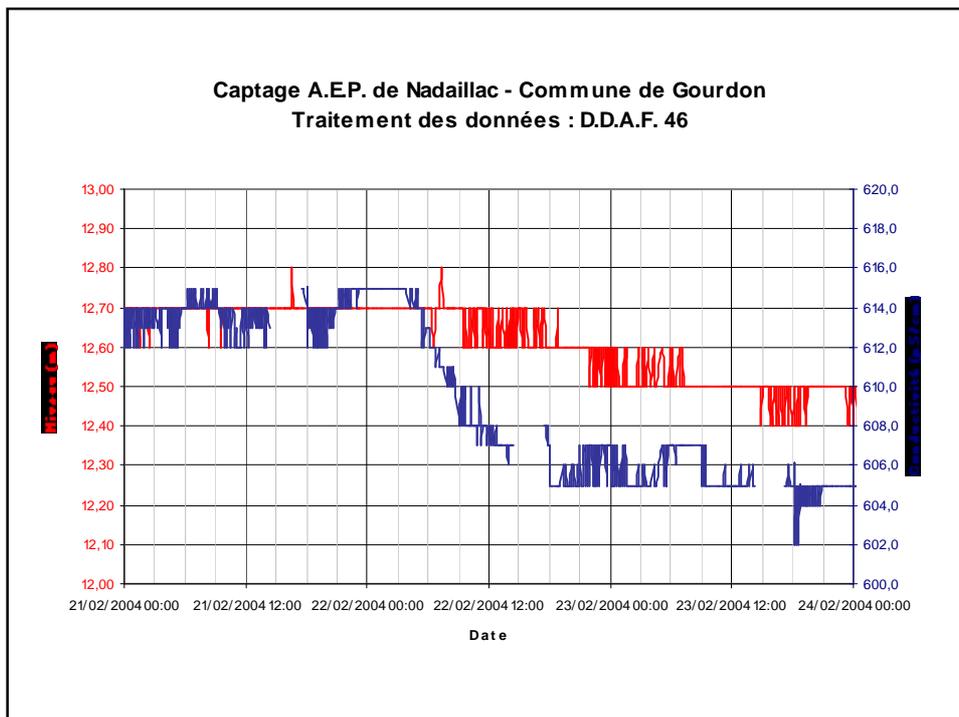
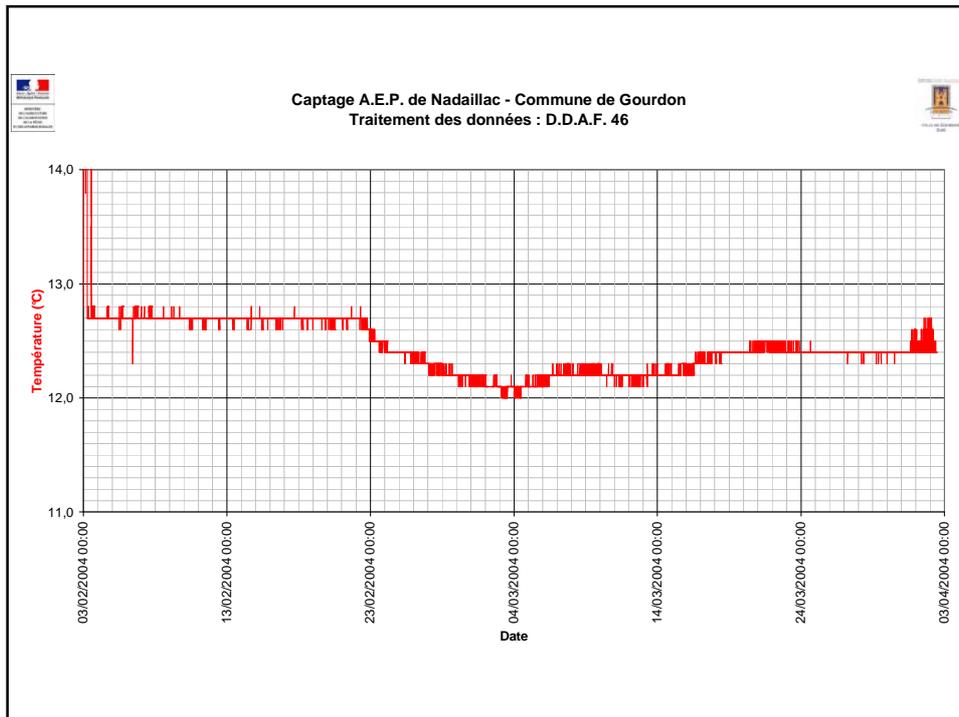
**FONCTIONNALITE HYDRO-PHYSICO-CHIMIQUE**

**Ville de Gourdon**

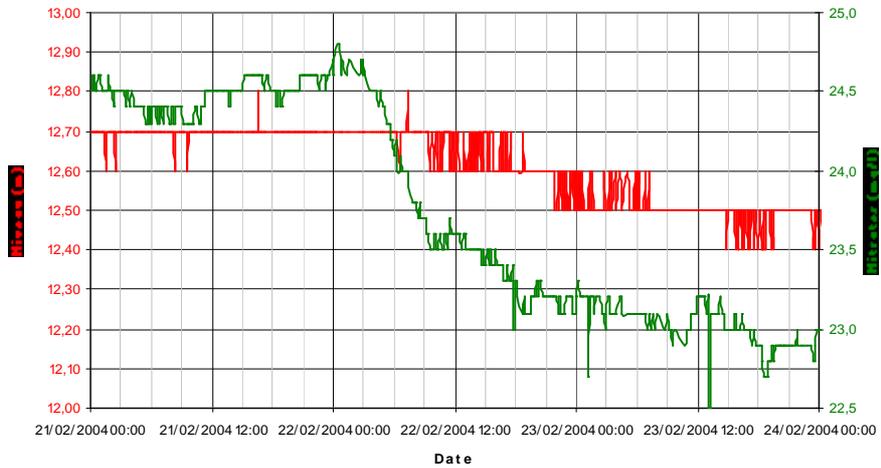
**Station A.E.P. de Nadaillac – Commune de Payrignac**



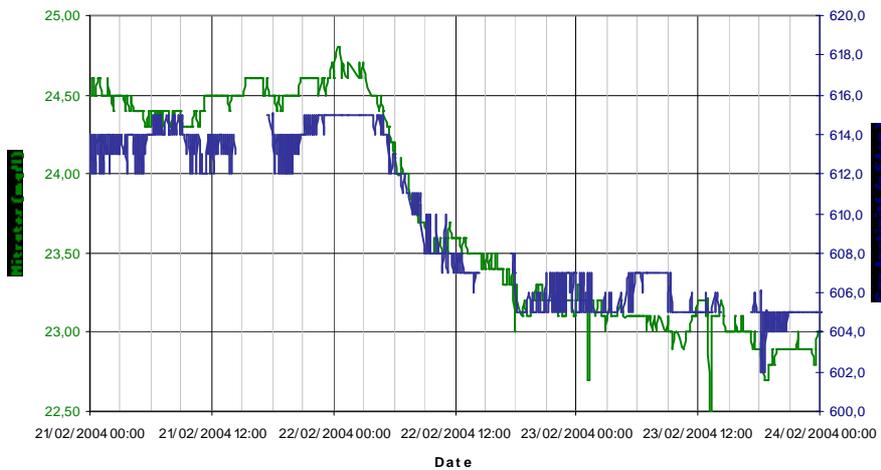


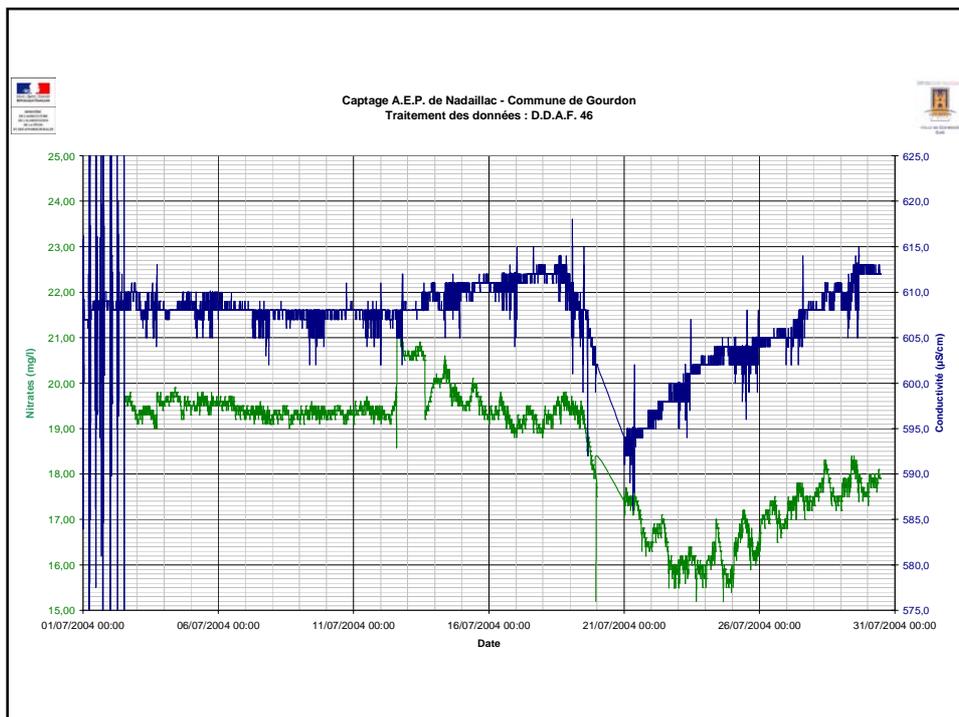
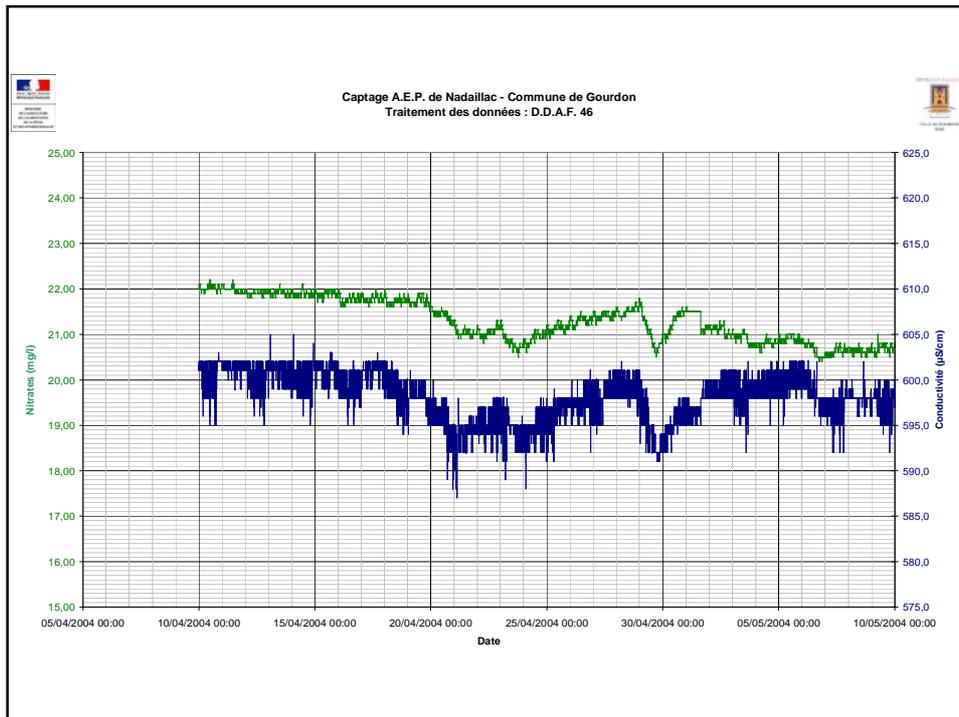


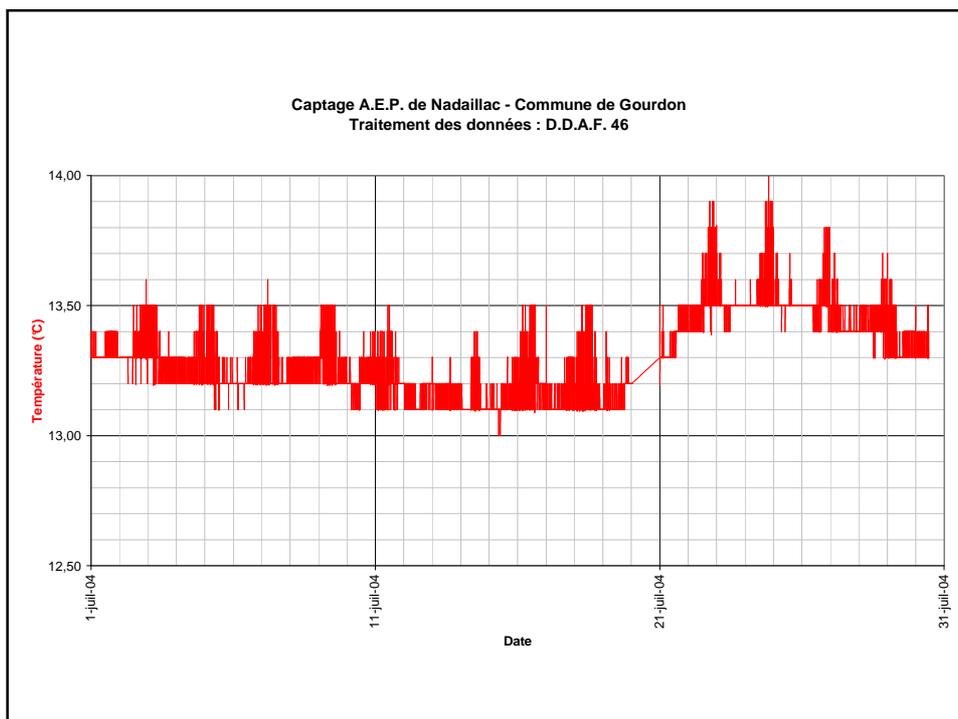
**Captage A.E.P. de Nadaillac - Commune de Gourdon**  
**Traitement des données : D.D.A.F. 46**



**Captage A.E.P. de Nadaillac - Commune de Gourdon**  
**Traitement des données : D.D.A.F. 46**







## B/ FONCTIONNALITE HYDRO-PHYSICO-CHIMIQUE

### 1 – Réactions aux pluies hivernales :

Baisse de la conductivité électrique, des teneurs en nitrates, de la température des eaux, en relation avec l'arrivée « d'infiltrats » rapides provoquant une dilution momentanée des réserves de la zone noyée.

### 2 – Réactions aux pluies estivales :

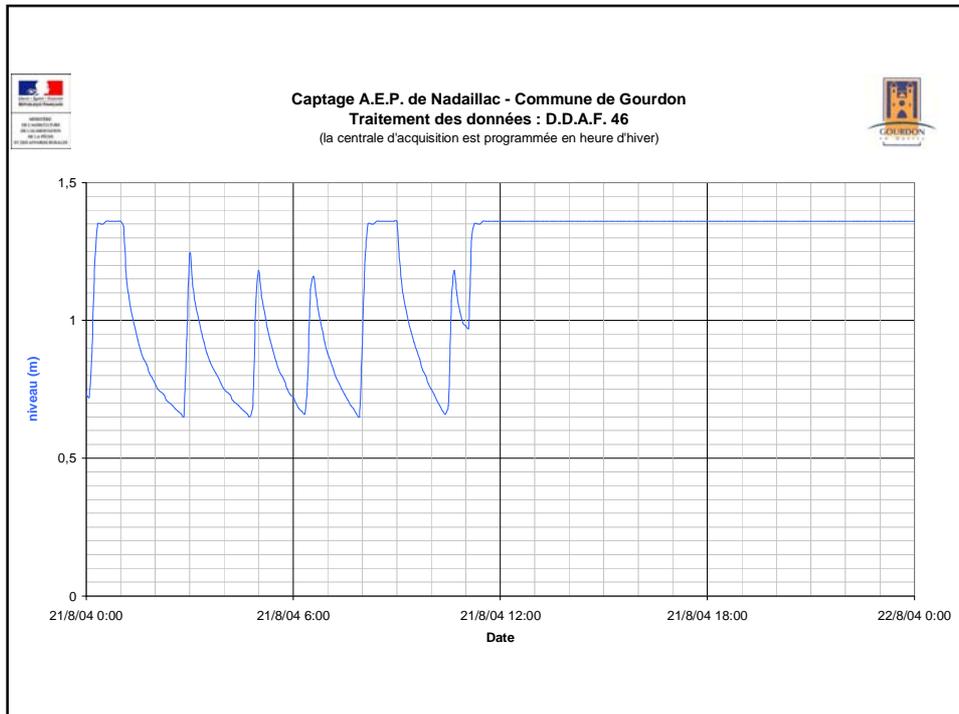
Baisse de la conductivité électrique, des concentrations en nitrates et augmentation de la température des eaux souterraines suite à l'arrivée d'infiltrations rapides, provoquant une modification momentanée de la qualité des réserves noyées.

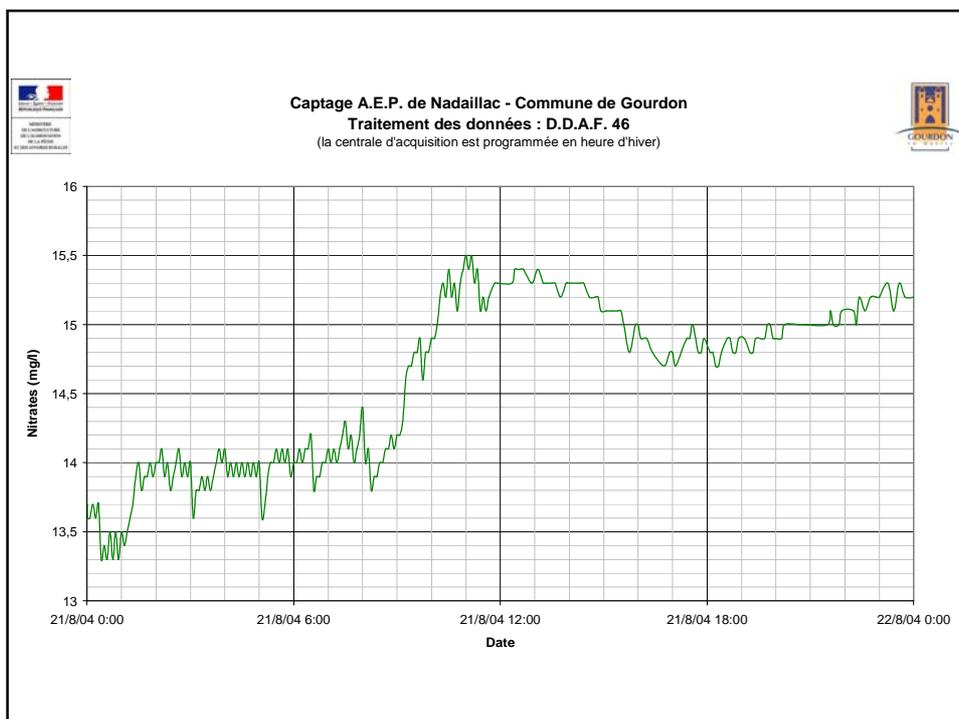
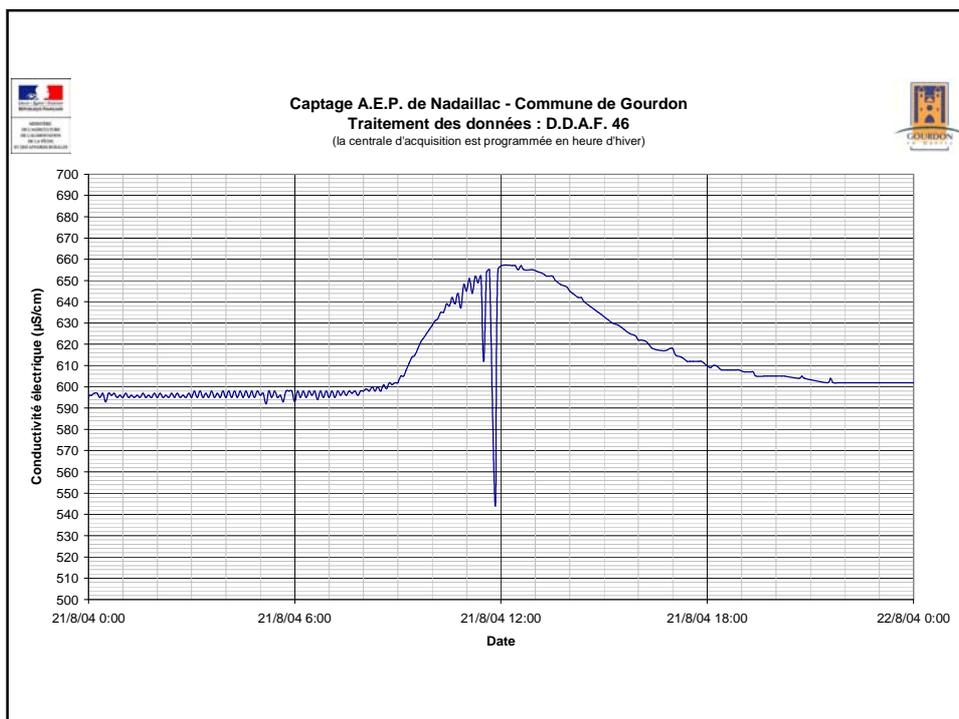


### 3 - Conclusion :

Fonctionnalité hydro-physico-chimique manifeste lors des pluies efficaces : (karst vulnérable aux pollutions d'origine superficielle)

## Pollution accidentelle du 21 août 2004





## C/ FONCTIONNALITE HYDRO-PHYSICO-CHIMIQUE

Les études hydrogéologiques qui ont été menées à la source de Nadaillac (LOT), pour caractériser le type de karstification associé à ce point d'eau, ont montré qu'il est absolument nécessaire, ici, de procéder à une approche simultanée des réactions hydrodynamiques et hydro-physico-chimiques au cours d'un cycle hydrologique.

## C/ CONCLUSION GENERALE

L'étude hydrogéologique de la source de Nadaillac, issue des formations calcaréo-gréseuses du Crétacé supérieur de la région de Gourdon, a montré que l'identification d'une fonctionnalité karstique relative à un hydrosystème carbonaté, doit être envisagée non seulement d'un point de vue hydrodynamique, mais également d'un point de vue hydro-physico-chimique.

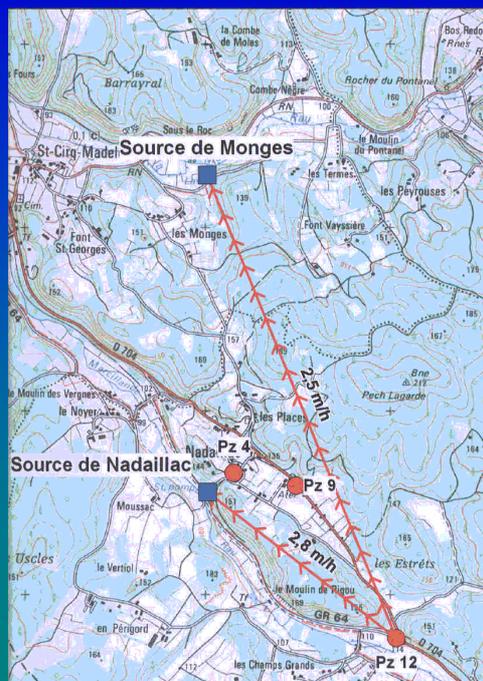
En effet, les réactions hydrodynamiques auraient pu laisser croire que la source de Nadaillac (à débit constant et à vitesse de circulation des eaux faible dans la zone noyée) était peu vulnérable aux pollutions superficielles.

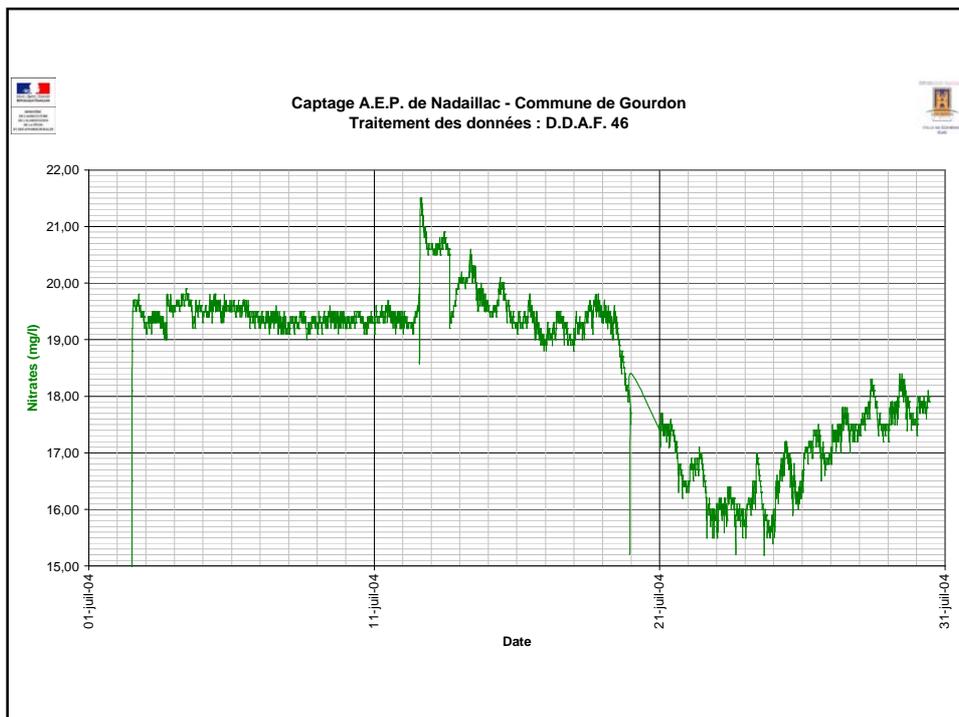
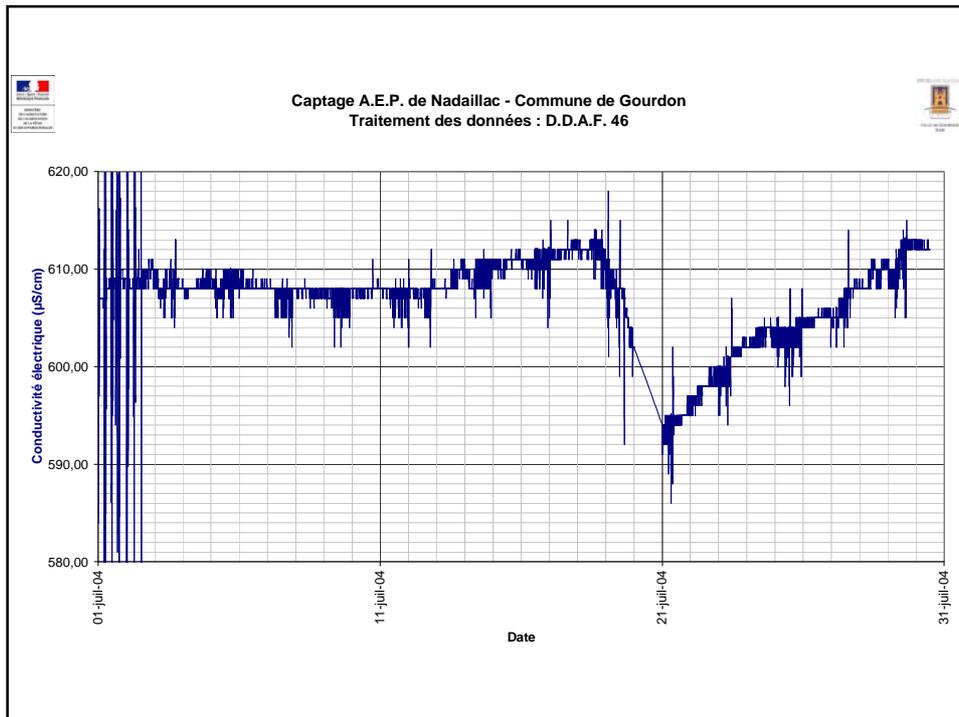
Il n'en est rien, les pluies efficaces, utilisées comme traceurs naturels, ont démontré que leur infiltration rapide depuis la surface est de nature à perturber la qualité des eaux de la source, aussi bien en hiver qu'en été.

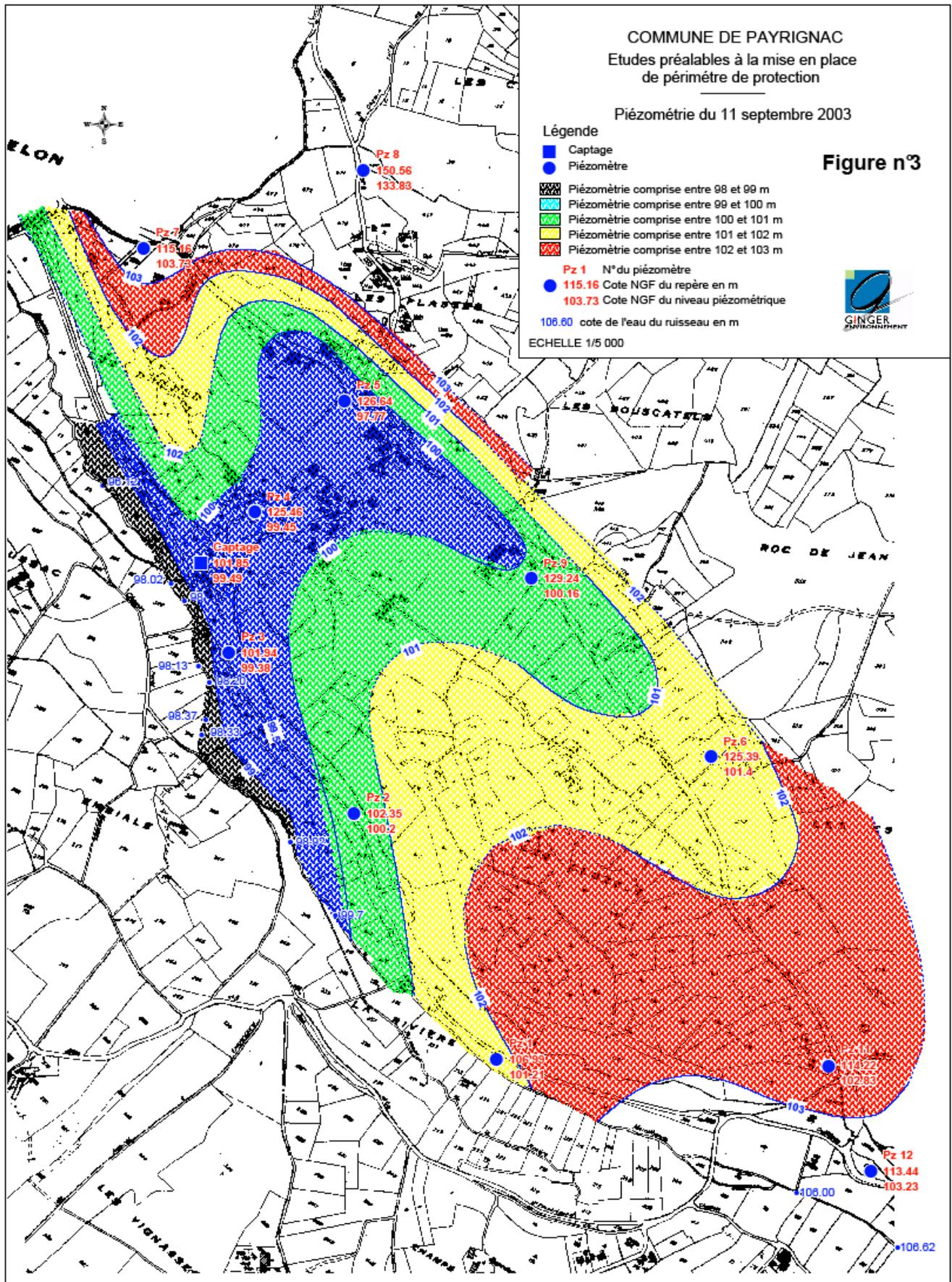
Ce point d'eau, examiné à l'aide d'enregistrements continus de paramètres-guides (conductivité électrique, teneur en nitrates, température) a montré l'existence d'infiltrations rapides et de ce fait apparaît bien comme un karst vulnérable aux pollutions d'origine superficielle.

La seule approche hydrodynamique aurait conclu à un point de vue totalement opposé.

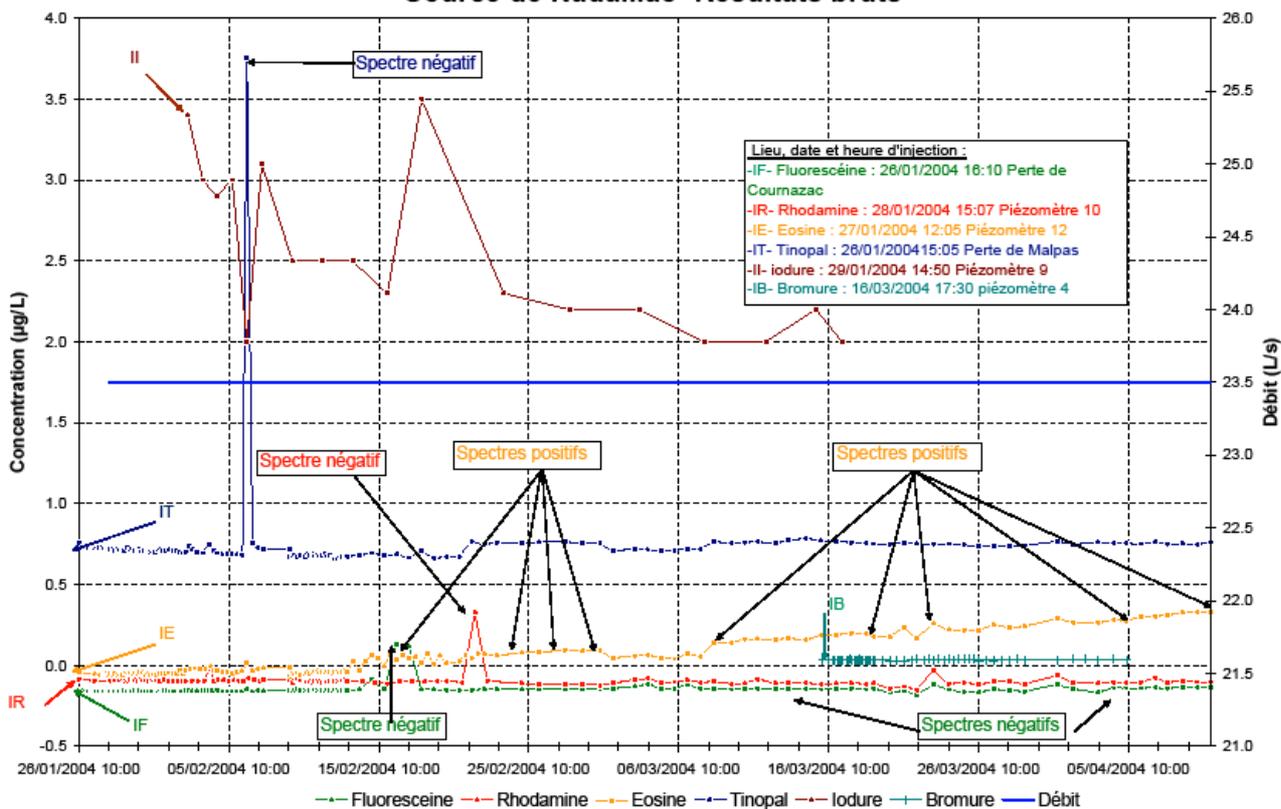
Une pollution accidentelle de la source, avec déversement de « purin », le 21 août 2004, a malheureusement confirmé le bien-fondé de l'approche continue de la qualité des eaux à l'aide de paramètres-guides.







### Courbes de restitution et de débit Source de Nadaillac - Résultats bruts



### Courbes de restitution et de débit Source de Nadaillac - Résultats nets

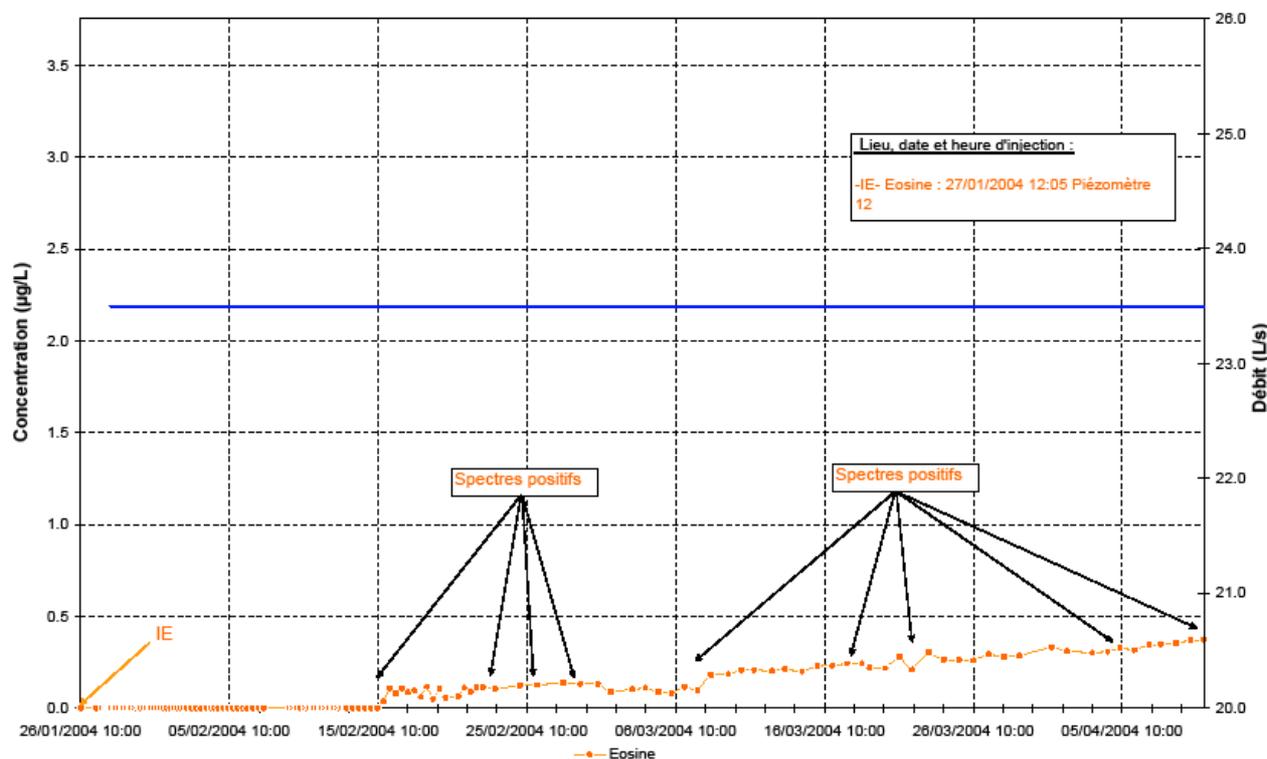




Figure 4: Courbes de restitution et de débit  
Source de Nadaillac - Résultats nets

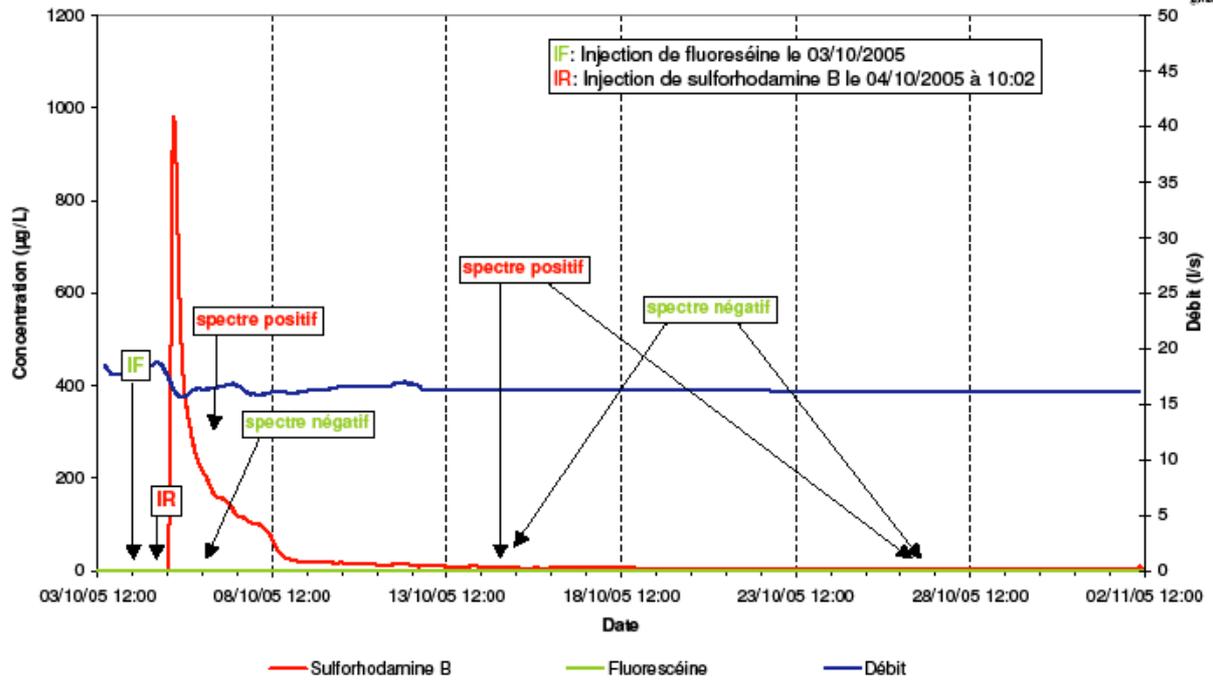
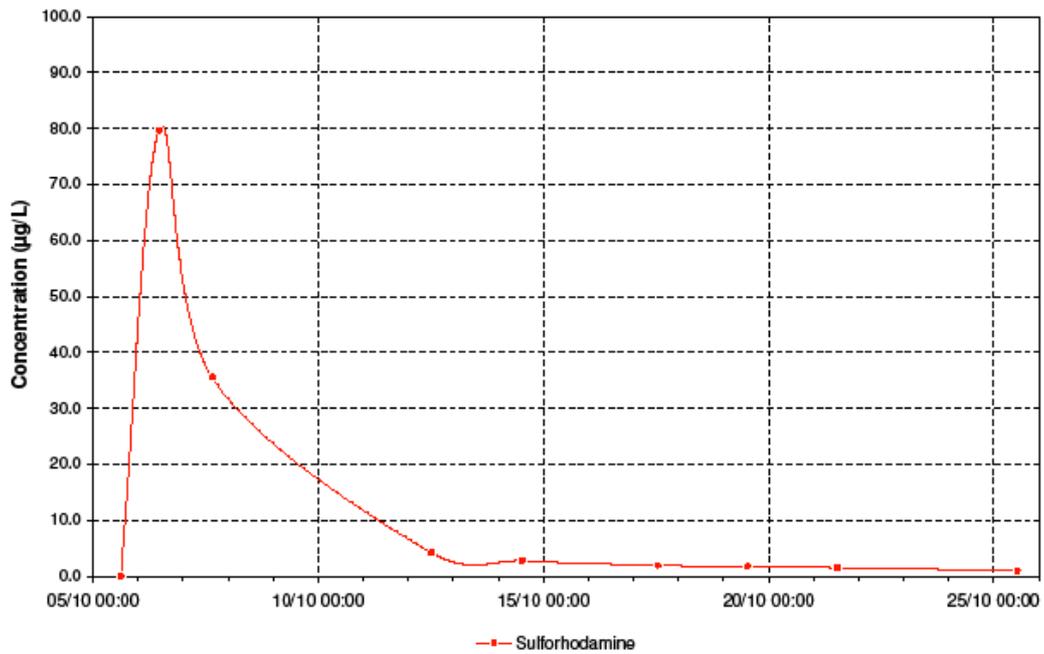
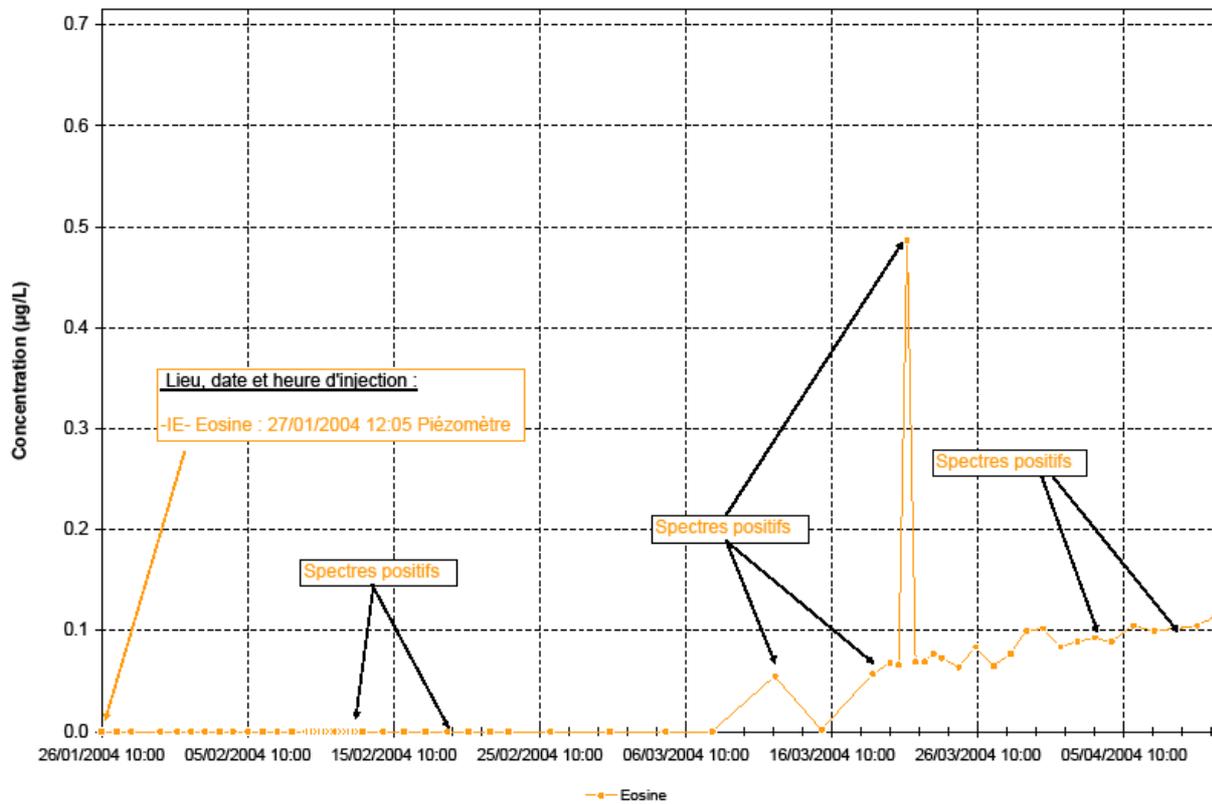


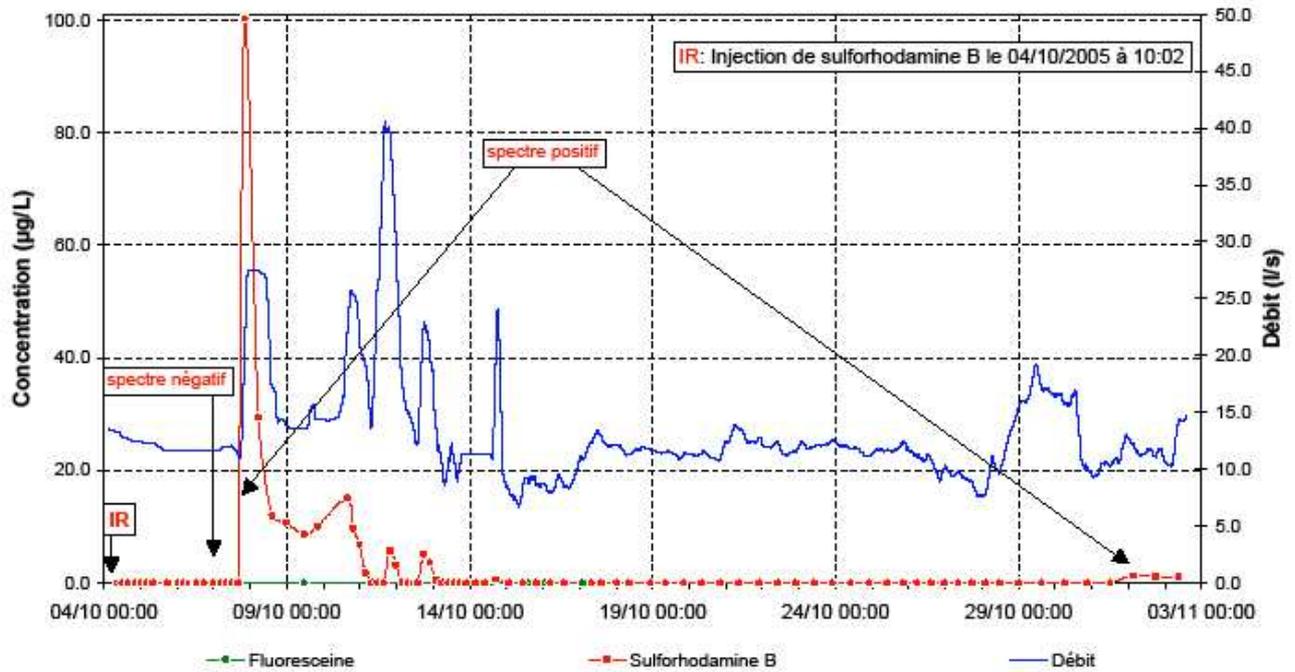
Figure 5: Courbe de restitution  
Source de Monges - Résultats bruts



### Courbes de restitution Source de Monges - Résultats nets



**Figure 6: Courbes de restitution et de débit  
La Marcillande (Nadaillac) - Résultats nets**



**SONDAGE DE RECONNAISSANCE  
HYDROGÉOLOGIQUE À PAYRIGNAC**

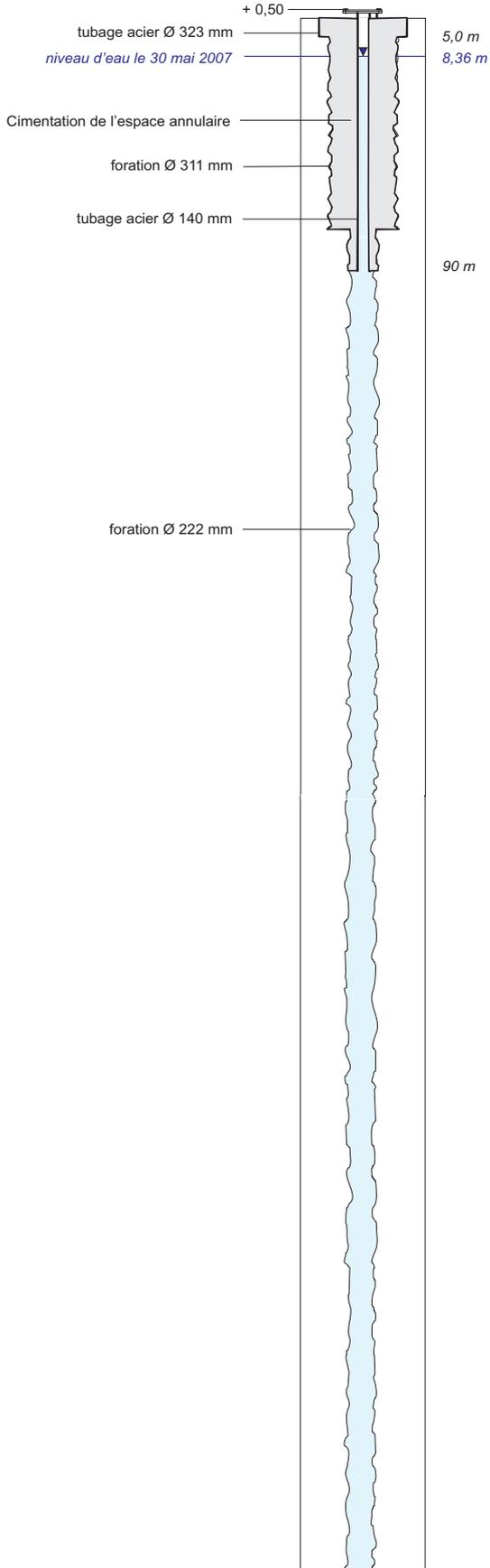
Département : Lot.  
Commune : Payrignac  
Lieu dit : Nadailac  
Parcelle : E56

Coordonnées km MTU, Lambert III  
x = 519,96 km  
y = 3275,64 km  
Altitude = 100 m  
Carte Ign : 2037 E

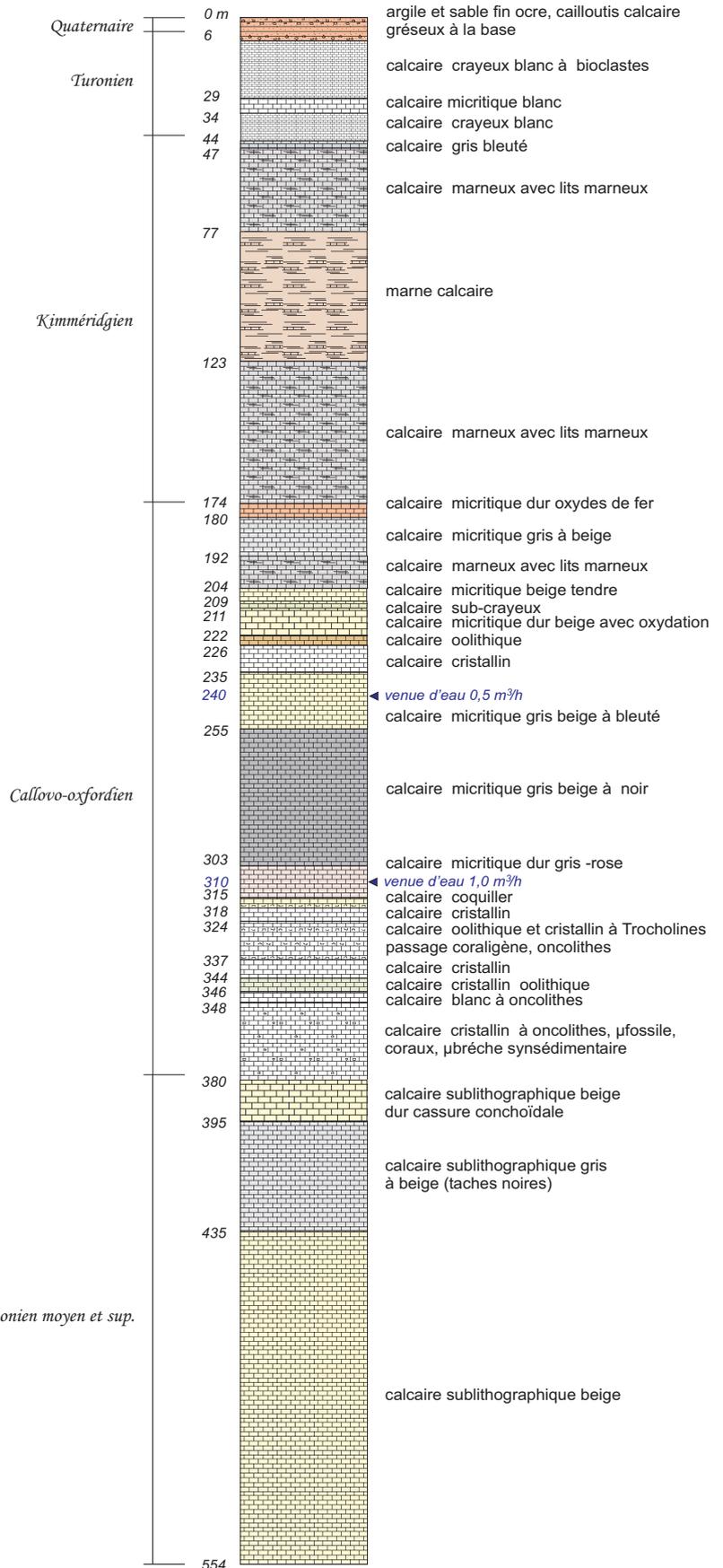
Travaux du 2 avril 2007 au 18 avril 2007  
Maître d'oeuvre : Hydro.Géo.Consult /EFG  
Entreprise : Massé (17)

Niveau statique = 8,36 m /tête forage le 30 mai 2007  
Débit = 2,5 m<sup>3</sup>/h

Coupe technique



Coupe lithologique



## 5. PHASE 4 : INVESTIGATIONS SUR LE PIEZOMETRE

Le piézomètre "Nadaillac profond" dénommé ainsi pour le distinguer d'autres piézomètres du même secteur implantés dans l'aquifère Turonien, beaucoup plus superficiel, capté entre 12 et 40 m.

2 types d'investigations y sont menés :

- une opération de diagraphie pour préciser et compléter les observations relevées in situ lors de la foration
- un suivi en continu des niveaux par et enregistrement à pas de temps très rapproché (30 mn et moins sur certaines périodes).

### 5.1 DIAGRAPHIE

☞ **rapport en Annexe 3**

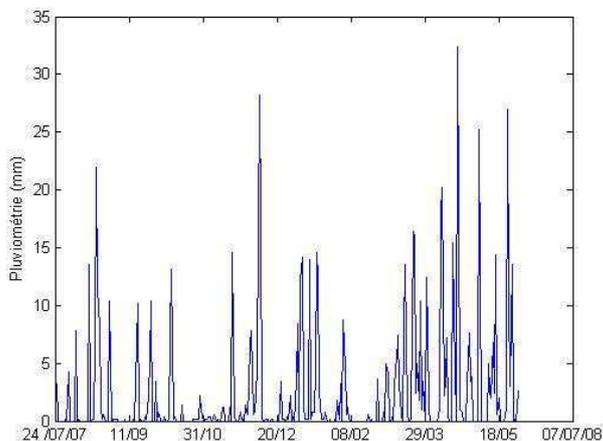
Principaux enseignements :

- Confirmation et précision de la coupe géologique dressée à partir des cuttings de forage : les niveaux kimméridgiens, plus argileux apparaissant notamment très nettement.
- A noter un très fort contraste de la résistivité des eaux dans la partie tubée (325  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la partie en trou nu (590  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ce très brusque saut confirme le caractère très confiné des très faibles "venues" d'eau captées.

## 5.2 SUIVI HYDRODYNAMIQUE

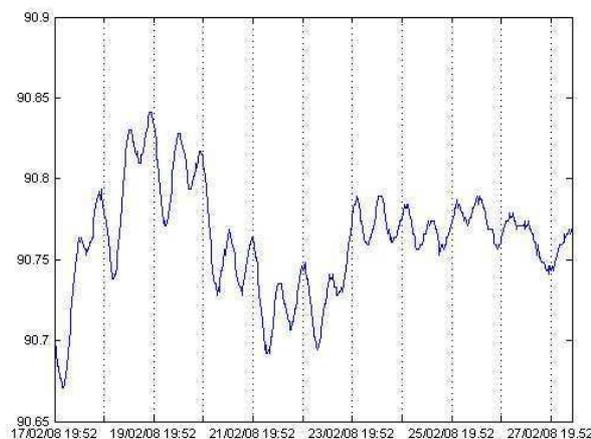
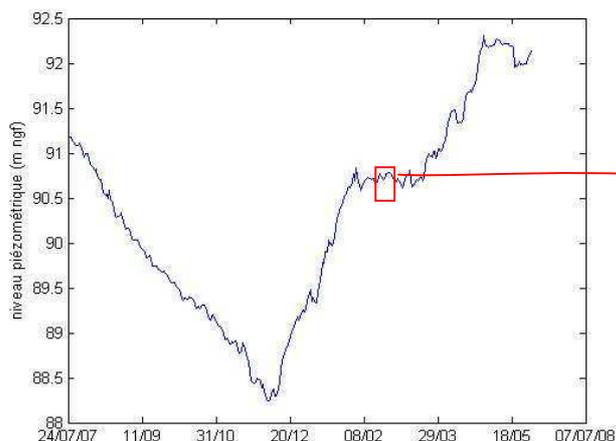
Le secteur de Nadaillac bénéficie d'un suivi hydrodynamique sur 2 aquifères : le niveau Jurassique profond, et le Coniacien-Turonien capté par un piézomètre de 40 m (Pz4).

### 5.2.1 LE PIEZOMETRE NADAILLAC PROFOND

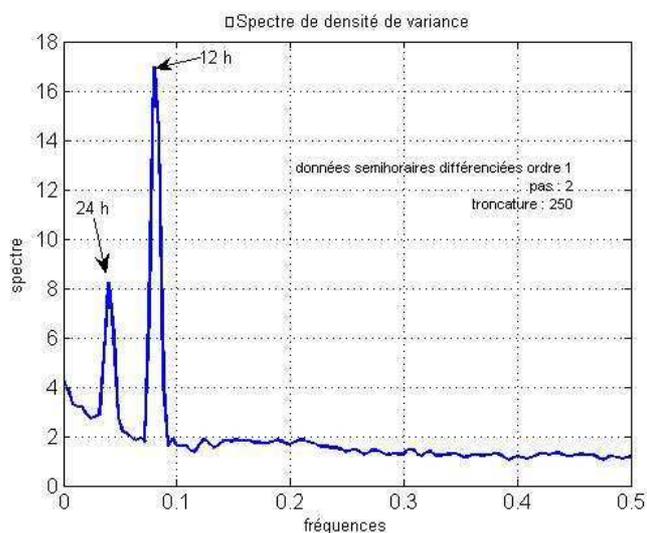


La piézométrie du sondage profond montre une décroissance régulière de juillet à mi-décembre 2007 (- 3 m) interrompue par les premières fortes pluies d'hiver. Suit une rehausse marquée coïncidant avec les pluies soutenues de janvier, une stabilisation en février (mois peu pluvieux), puis à nouveau remontée des niveaux avec les pluies de printemps.

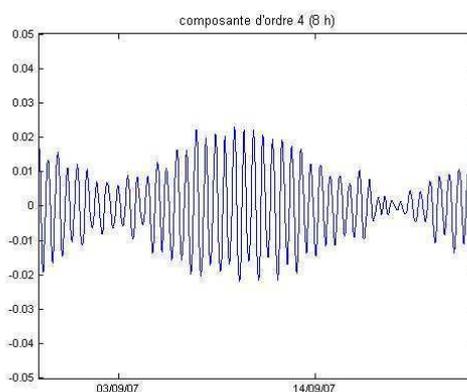
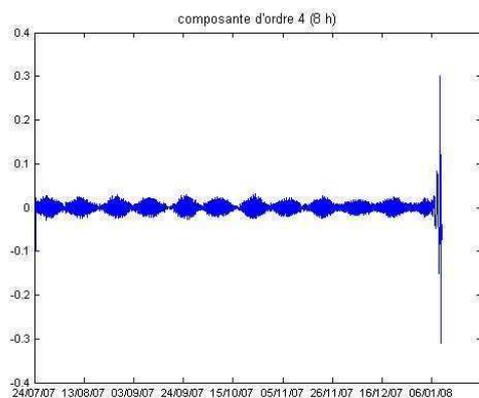
Dans le détail, la piézométrie semble affectée par des mouvements cycliques semi-diurnes (fig ci-dessous en bas à droite).



Les analyses corrélatoires et spectrales le confirment. Le spectre de densité de variance sur données filtrées (différenciation d'ordre 1) montre sans équivoque des périodicités à 12 heures et 24 heures, signature des phénomènes de marée terrestre, bien perçue dans les aquifères captifs.



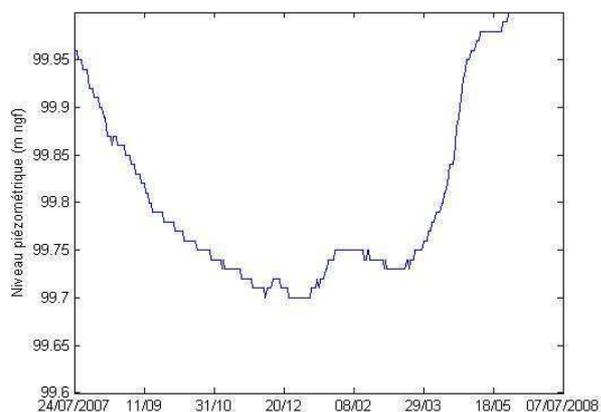
L'analyse multirésolution permet d'extraire la composante d'ordre 4 sur laquelle les périodicités à 12 heures sont clairement exprimées. Sur cette composante, l'amplitude du phénomène est mesurée : elle est de 2 cm. Cette donnée permet d'approcher le coefficient d'emmagasinement, estimé à  $1 \times 10^{-6}$  par mètre d'épaisseur aquifère (par la formule  $S = e \cdot \theta / dh$  avec  $S$  coefficient d'emmagasinement ;  $dh$  amplitude (en m) de la composante à 12 h ;  $\theta$  coefficient de dilatation cubique de l'onde de marée M2 ( $2 \times 10^{-8}$ ) et  $e$  l'épaisseur de l'aquifère (m).



### 5.2.2 LE PIEZOMETRE PZ4

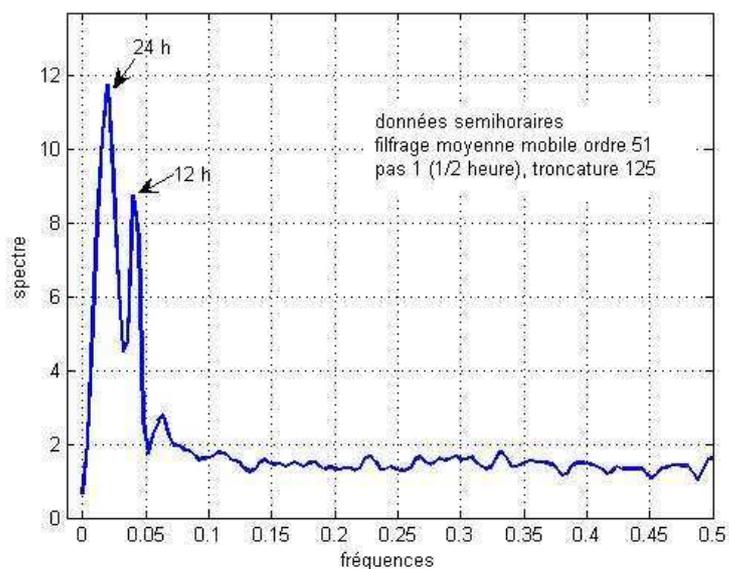
Parallèlement au piézomètre profond, les niveaux plus superficiels du Turonien font l'objet d'un suivi par sonde de niveau enregistreuse avec un pas de mesure rapproché (30 mn et moins sur certaines périodes).

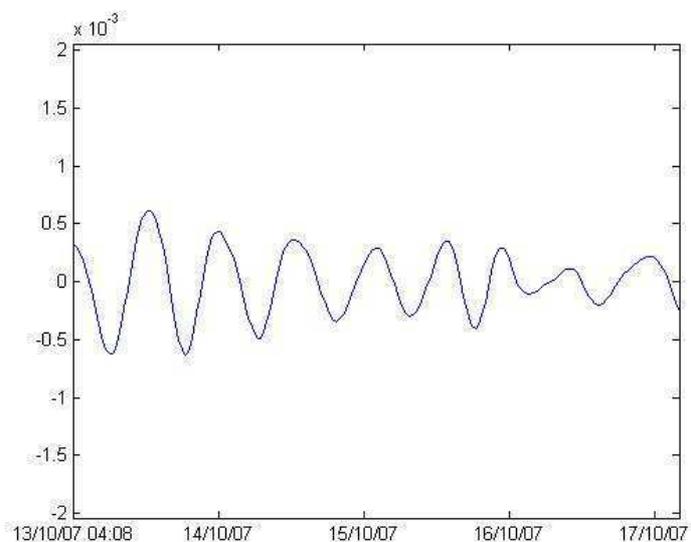
Comme les niveaux profonds, l'aquifère Turonien régit aux évènements pluviométriques mais avec une amplitude moindre (30 cm pour le Turonien sur toute la chronique contre 3 m pour le Jurassique)



Contrairement au piézomètre profond du Jurassique, aucune périodicité n'apparaît à l'œil nu sur les enregistrements.

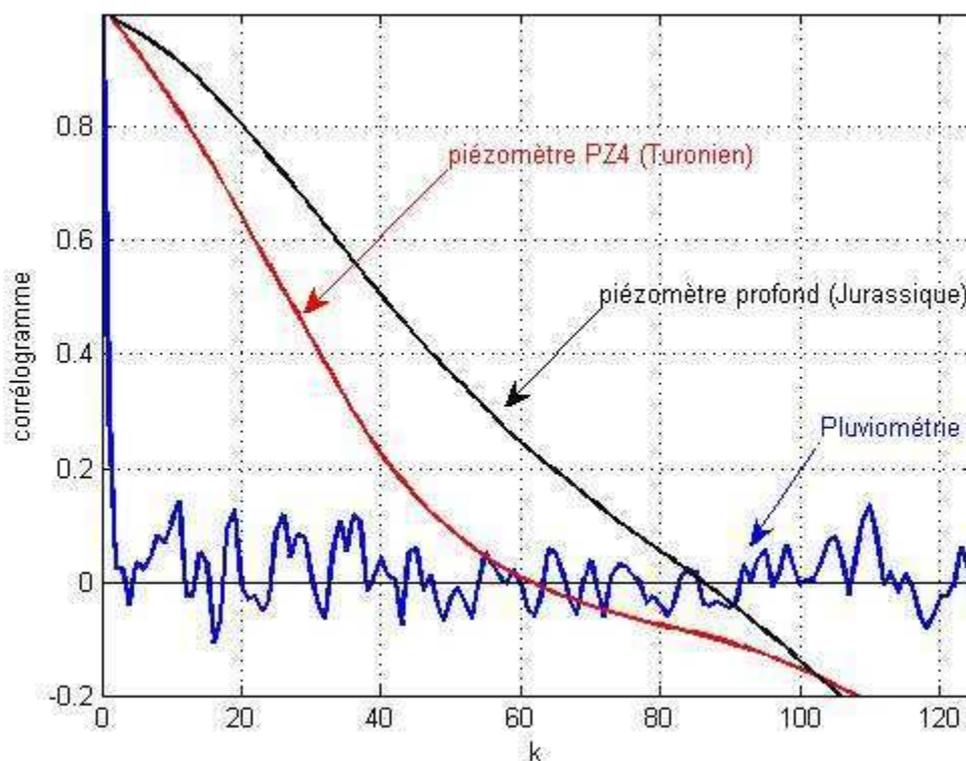
Un filtrage par moyenne mobile d'ordre 51 et l'analyse du résidu (sur des données semi horaires) permet néanmoins de mettre en évidence des périodicités de 12 et 24 h, signatures de la marée terrestre.





Le phénomène est nettement plus discret que dans l'aquifère profond, puisque l'analyse en multirésolution et l'isolement de la composante d'ordre de 4 fait apparaître des amplitudes de l'ordre de 1 mm soit le 1/20 de celles perçues dans le piézomètre profond.

La comparaison des 3 corrélogrammes montre le comportement inertiel des 2 aquifères par rapport à la pluie (signal quasi aléatoire comme le montre son corrélogramme qui est très rapidement proche de 0). L'inertie est plus marquée dans le niveau jurassique que dans l'aquifère turonien.



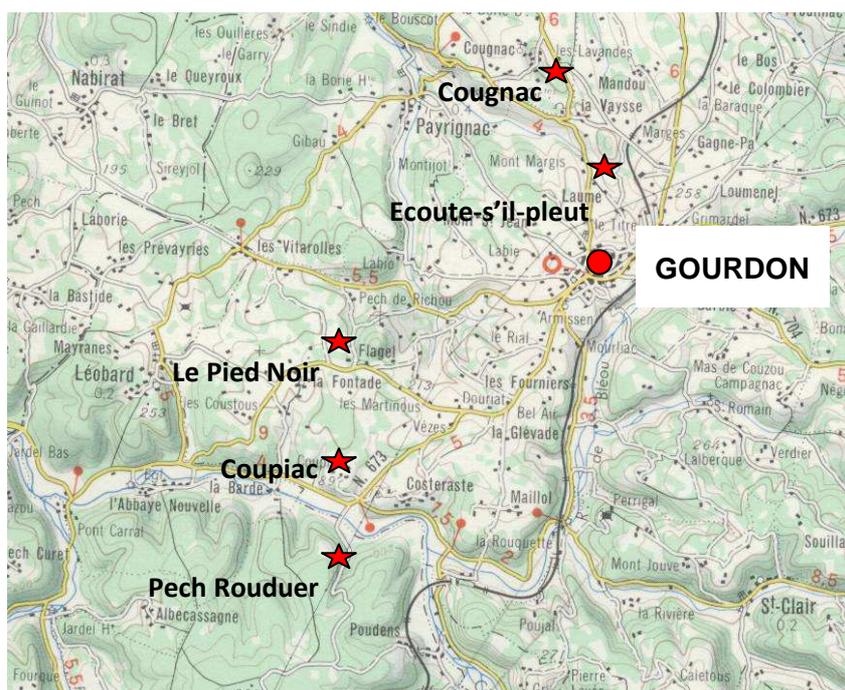


## LES GRÈS DE GOURDON



Jean-Guy Astruc, Géologue Régional Honoraire BRGM Midi-Pyrénées, 2 bd de la Mairie, 09350 Campagne-sur-Arize.

E-mail : jean.astruc@wanadoo.fr

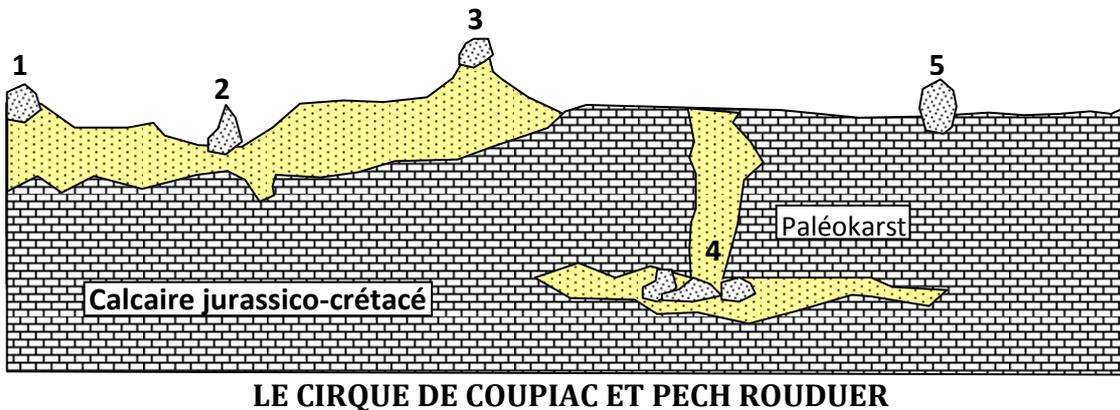


**Fig. 1 - LOCALISATION DES AFFLEUREMENTS MAJEURS**

Le site de Gourdon est caractérisé par une butte élevée dominant la ville ; celle-ci est couronnée par des gros blocs de grès quartzitiques, blancs. Ces blocs se rencontrent soit isolés, soit en grand nombre formant des chaos (Pomarède, Pech Peyroux, etc...) ; ceux-ci abondent dans l'aire d'affleurement des altérites sableuses (le Pied Noir, la Selle, Gourdon, etc...), mais on en rencontre également, reposant directement sur les calcaires jurassiques (Roquebert, feuille Puy-l'Evêque), ou même à l'intérieur de paléokarsts (Saint-Cirq-Lapopie).

Ces grès ont leur origine dans la cimentation locale des altérites sableuses, par précipitation et cristallisation de la silice véhiculée par des circulations paléohydrologiques (N.Trauth et *al.*, 1985). Ces silcrètes sont très spectaculaires : certains blocs, dans les environs de Gourdon, peuvent atteindre un volume de 3000 m<sup>3</sup> (Coupjac, le Pied Noir, la Selle).

Fig. 2 - TYPES D'AFFLEUREMENTS DES GRÈS DE GOURDON



### LE CIRQUE DE COUPIAC ET PECH ROUDUER

**Le cirque de Coupiac** (4 km au SW de Gourdon) est un élargissement de vallon causé par le déblaiement récent (quaternaire) du remplissage meuble d'une dépression karstique (cavité ou canyon) d'âge Eocène creusée dans les calcaires portlandiens.

Un énorme monolithe de grès quartzitique, contre lequel est adossée une gentilhommière, occupe le centre de cette vaste dépression. Les grès de Gourdon (cf. fig. 2) auquel appartient ce monolithe, se rencontrent soit isolés, soit en grand nombre formant des chaos (Pomarède, Pech-Peyroux, Pech Rouduer, etc...) ; ceux-ci abondent dans l'aire d'affleurement des altérites sableuses.

Ces grès quartzitiques sont des silcrètes<sup>1</sup> qui ont leur origine dans la cimentation locale des altérites sableuses, par précipitation et cristallisation de la silice véhiculée par des circulations paléohydrologiques (N. Trauth et *al.*, 1985).

Le Pech Rouduer est une ancienne extraction d'argile kaolinique et de sable, située sur la commune de Dégagnac ; le sable est encore exploité épisodiquement.

On observe une vaste poche (diamètre >50 m), aux contours flous, creusée à l'intérieur des calcaires micritiques du Portlandien, partiellement remplie d'altérites argilo-sableuses.

- A la base, une lentille d'argile kaolinique blanche est surmontée par 8 mètres de sables blancs<sup>2</sup>, très fins, sans aucune trace de stratification.
- Au centre de cet affleurement, des blocs de grès quartzitiques (grès de Gourdon), reposent sur des sables roux, stratifiés; sur la limite nord de l'affleurement on observe des argiles brunes, graveleuses, à silex et poupées ferrugineuses.

---

<sup>1</sup> Silcrète accumulation locale de silice, d'origine pédologique, cimentant des formations sableuses (R. Meyer, 1984).

<sup>2</sup> Ces sables blancs "kaoliniques", très fins, pulvérulents, sont issus de l'altération de grains de quartz, des altérites sableuses du Crétacé. A la loupe binoculaire, ils sont très anguleux, identique à du verre brisé.

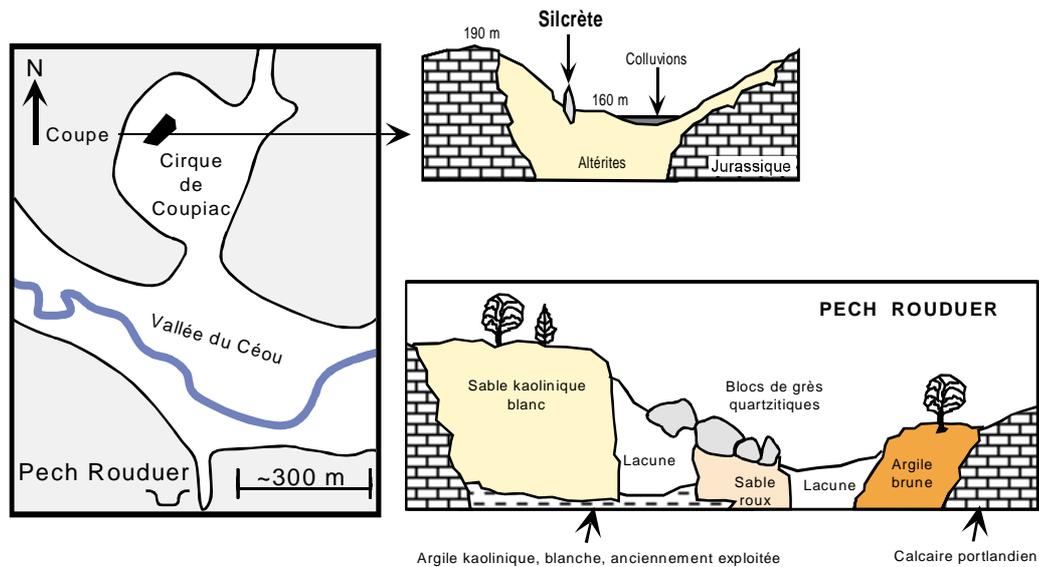


Fig. 3 - AFFLEUREMENTS DE COUPIAC ET DE PECH ROUDUEUR

#### POUR EN SAVOIR PLUS

ASTRUC J., G. (1988) - Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. Document du B.R.G.M. n°133, 135 p.

ASTRUC J., G. (1990) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Gourdon (832). Orléans : BRGM, environ 45 p.

ASTRUC J. G. et R. SIMON-COINCON (1992) - Enregistrement de l'évolution climatique et tectonique par les paléokarsts (exemple du Quercy et de ses marges). In " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 497-508.

RENAULT Ph., SIMON-COINCON R. et ASTRUC J., G. (1992) - Problèmes des Causses du Quercy. In " Karsts et évolutions climatiques". Presses Univ. de Bordeaux édit., pp. 469-496.

SIMON-COINCON R., ASTRUC J., G. (1991) - Les pièges karstiques en Quercy : rôle et signification dans l'évolution des paysages. Bull. Soc. géol. France, t.162, n°3, pp. 595-605.

TRAUTH N., ASTRUC J.G., ARCHANJO J., DUBREUILH J., MARTIN P., CAULIEZ N. et FAUCONNIER D. (1985). Géodynamique des altérations ferralitiques sur roches sédimentaires en bordure sud-ouest crétacée du Massif Central : paysages sidérolithiques en Quercy-Blanc, Haut-Agenais, Bouriane et Périgord Noir. B.R.G.M., Géologie de la France, n°2, p.151-160.



## La séquence Pléistocène moyen de Coudoulous I (Lot). Bilan pluridisciplinaire<sup>1</sup>

Jacques Jaubert, Bertrand Kervazo, Jean-Philip Brugal, Christophe Falguères, Marcel Jeannet, Cristina Lemorini, Antoine Louchard, Frédéric Maksud, Hélène Martin, Vincent Mourre, Yves Quinif, Céline Thiébaud

Le gisement de Coudoulous I (Tour-de-Faure, Lot), situé au coeur du Quercy se rattache à l'étage le plus haut des cavités dites "héritées" et domine d'environ 140 m le confluent du Lot et du Célé. Cette grotte-aven, découverte en 1966 à l'occasion de travaux a fait l'objet de campagnes de sauvetage programmé sous la direction de J. Clottes et E. Bonifay de 1978 à 1980. La documentation issue de ces fouilles demeure en partie inédite.

En 1993, nous avons repris l'étude du site en parallèle avec celle d'un second gisement, Coudoulous II (J.-Ph. Brugal dir.) afin de compléter les données déjà recueillies, d'échantillonner des secteurs peu explorés et de programmer de nouvelles analyses. L'un des objectifs était de mieux comprendre les relations Homme – Animal durant le Pléistocène moyen. Les travaux de terrain ont duré une dizaine d'années et sont désormais quasi-achevés.

Ce sont les résultats de ces campagnes qui seront présentés : d'une part, un premier bilan portant sur l'ensemble de la séquence, d'autre part une synthèse et une présentation du principal niveau archéologique, la couche 4, dont l'interprétation est plus avancée. Le gisement correspond à une salle de 15 à 20 m de diamètre, recoupée par une tranchée artificielle de part et d'autre de laquelle la fouille a progressé. D'un point de vue géologique, les étapes suivantes peuvent être reconnues :

- creusement des galeries en régime phréatique ;
- dépôt en contexte endokarstique de vieilles argiles, d'âge indéterminé (9-11), scellées par un puissant plancher stalagmitique (8g-e);
- soutirage des dépôts et ouverture de l'aven par effondrement localisé du toit (8d);
- nouvel épisode de concrétionnement (8c);
- agrandissement de l'ouverture permettant l'édification d'un cône par éboulisation gravitaire et coulées sèches (7-3) dans lequel s'intercale le niveau archéologique principal (4) ;
- mise en place d'un mince plancher stalagmitique et cimentation du sommet des dépôts durant le stade isotopique 5 (dates U/Th);
- éboulisation et colmatage par des sédiments fins d'origine éolienne favorisant le développement de coulées boueuses ou de solifluxion (2) qui aboutissent au comblement de l'aven durant le Dernier Glaciaire.

D'un point de vue archéologique, on peut distinguer deux ensembles.

### *Ensemble inférieur*

Il est riche en microvertébrés, comporte une grande faune plus ou moins abondante, souvent mal conservée, mais est toujours pauvre en vestiges lithiques (unités 8 à 5). Cet ensemble, contemporain et très certainement antérieur au stade isotopique 6 ne peut être attribué à une période précise du Pléistocène moyen. La microfaune, extrêmement abondante (Rongeurs, Insectivores, Oiseaux, Poissons...), permet de retracer dans leurs grandes lignes les paléoclimats et de proposer une interprétation biostratigraphique qui confirme l'âge Pléistocène moyen de la

<sup>1</sup> Ce texte reprend en grande partie un résumé publié lors du colloque : *Données récentes sur les modalités de peuplement en Europe au Paléolithique inférieur et moyen*, qui a eu lieu à Rennes (Université de Rennes) du 22 au 25 septembre 2003.

séquence. Plusieurs taxons de la grande faune (*Ursus deningeri*, *Canis lupus* aff. *lunellensis*, *Hemitragus*, *Elephas antiquus* ...) s'accordent avec cette estimation.

Durant cette période, la grande faune, partagée entre Carnivores (dominés par les Canidés : Loup, Cuon) et Herbivores (dont beaucoup de juvéniles : Cervidés, Caprinés, Bovinés) est essentiellement d'origine naturelle ; l'intervention anthropique reste exceptionnelle. L'industrie lithique est très pauvre mais toujours présente, limitée à quelques vestiges dont le statut n'est pas toujours aisé à identifier : outils sur galets, nucléus, galets taillés, percutés, éclats, manuports, etc. Ces vestiges témoignent d'une fréquentation du site par les hommes sans qu'un rapport puisse être clairement établi avec la faune. Une parenté avec l'Acheuléen peut être évoquée, même si elle est difficile à argumenter faute d'un échantillon représentatif.

#### *Couche 4*

D'un point de vue géologique, cet ensemble présente un caractère intrusif : contrairement aux dépôts sous et sus-jacents, il a été essentiellement alimenté par les constituants du plateau, dont l'introduction dans l'aven a vraisemblablement été occasionnée par les activités de chasse. Sur la base de la biochronologie, de dates ESR et U/Th, il est rapportable au stade isotopique 6. La faune est presque exclusivement composée de restes de Bisons (*Bison priscus*, env. 95% du NRD) accompagnés de quelques éléments de Cheval et de Loup. Le profil d'abattage correspond à une courbe de type catastrophique, dominée par les jeunes et les sub-adultes ; ces populations sont essentiellement composées de femelles (fort dimorphisme sexuel chez les bovinés). L'analyse des degrés d'éruption et d'usure dentaire permet d'avancer une acquisition active de type rabattage vers un piège naturel, centrée vers la fin du printemps et le début de l'été. Ces observations semblent confirmées par les premiers résultats de l'étude cémento-chronologique.

L'industrie associée est produite à près de 95% aux dépens de galets de quartz et quartzites qui ont été débités suivant différentes variantes du débitage Discoïde, mais aussi par débitage sur enclume. Les supports recherchés sont des éclats à tranchants convergents qui ont majoritairement été utilisés bruts de débitage. Outre quelques pièces en roches diverses (granite, basalte...) correspondant au matériel de percussion, l'ensemble est complété par une série de pièces en silex local correspondant à un débitage Levallois. L'outillage, bien que rare, comprend quelques pièces typiques du Moustérien (raclours, pointes, denticulés).

# GEOLOGIE DE COUDOULOUS I<sup>1</sup>

**B. Kervazo, J. Jaubert, L. Bruxelles, C. Ferrier, D. Keravis, S. Konik**

Le réseau dans lequel se trouvent les gisements de Coudoulous se rattache aux cavités dites « héritées » et appartient au même étage karstique que la grotte de Pech-Merle. Il a été creusé dans les calcaires du Callovien (?), aux abords du passage à l'Oxfordien (?)(Astruc et al. 1992). Il domine d'environ 140 m la confluence du Lot et du Célé et s'ouvre sur le causse par une série de puits et d'orifices aux dimensions variables ayant permis la formation d'avens (*igues*).

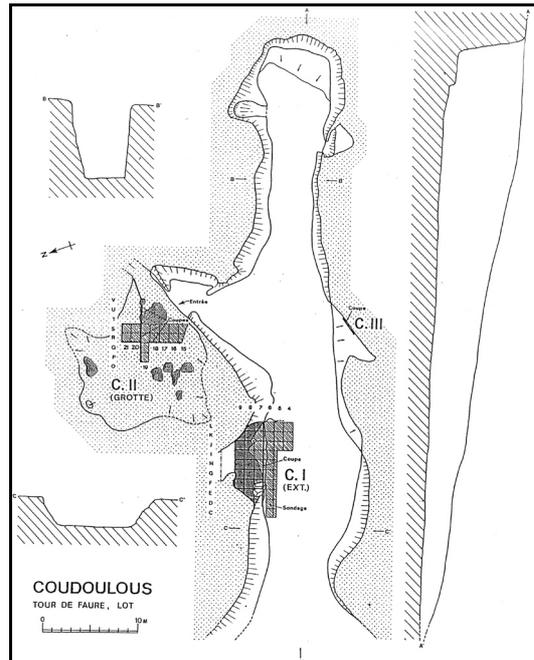


Fig 1 : Coudoulous : topographie générale des gisements (relevé F. Rouzaud, 1979-1980) (in Brugal 2000).

Coudoulous I correspond à une salle de 15 à 20 m de diamètre, entièrement colmatée par des formations détritiques et des spéléothèmes. Le site est partagé en deux secteurs – Sud et Nord – séparés par une tranchée artificielle (fig. 1 et 2). Au Sud, le toit de la cavité est conservé ; au Nord, seules les parois latérales prolongées par une mince avancée du toit rocheux subsistent. Le plafond est donc absent au centre du secteur fouillé.



Figure 2 : Coudoulous I: vue générale du site en cours de fouille et de la tranchée qui a recoupé le gisement (photo B. Kervazo).

<sup>1</sup> Ce texte est largement repris de celui publié dans les actes du colloque de Rennes (J. Jaubert et al, 2005)

## I - LITHO-STRATIGRAPHIE ET DYNAMIQUE

La stratigraphie étudiée se développe sur près de 8 mètres de hauteur cumulée (fig. 3 et tableau). Sa séquence détritique a été essentiellement alimentée :

- par les parois de la salle, qui ont libéré des calcaires anguleux et des spéléothèmes cassés ;
- par le versant, qui a notamment fourni les argiles rubéfiées des sols du plateau et les calcaires aux formes adoucies du lapiaz.



Figure 3 : Coudoulous I :  
vue générale de la  
stratigraphie – secteur  
Nord (photo B.  
Kervazo).

Trois étapes peuvent être distinguées.

### A – LE KARST INTERNE

- Durant la phase la plus ancienne, la cavité est le siège d'épisodes hydrologiques : les coupes qui entament le plafond du secteur Sud témoignent d'un façonnage des parois en milieu phréatique. Des argiles brunes à rouges accumulées sur plusieurs mètres d'épaisseur à la base de la séquence (*US 10* et *9* - fig. 4) illustre un régime de sédimentation très calme.

- Deux planchers stalagmitiques épais de près d'un mètre scellent ces argiles (*8g* et *8e*). Ils indiquent une ambiance vadose, mais l'augmentation de porosité du plus récent (*8e*) suggère une évolution des conditions aérologiques dans la salle.

- Un (ou plusieurs) soutirage(s) ont affecté ce remplissage, démantelant les planchers et infléchissant les vieilles argiles vers le centre de la salle.

Ensembles	Complexe	US	Épaisseur	Lithostratigraphie	Dynamique	M	F	L
supérieur	1		0,30 m	Sol brun calcaire (calcosol) Horizon rouge (Sca)	Pédogenèse, colluvionnement, colmatage			
		2	a b c	1 m	Formation colmatée limoneuse claire, verdâtre (grèze), argileuse rouge	Éboulements gravitaires, apports éoliens, colmatage, solifluxion, cryoturbation locale		
			0,12 m	<b>Plancher stalagmitique supérieur</b>	Processus biochimiques, altération			
moyen	3	a	0,80 m	Brèche pauvre en cailloux	Entassements gravitaires / coulées sèches Gel secondaire			
		b	1,50 m	Cailloutis sec, anguleux plus ou moins ouvert localement bréchifié				
		c	0,30 m	Castine anguleuse riche en fraction argileuse brun-rouge				
	4		0,40 m	Cailloutis grossier à matrice brun-rouge ( <i>bed bone</i> )	Diamicton riche en vestiges, bioturbé, altéré, concrétionné			
	5	a	0,40 m	Cailloutis ouvert homométrique	Accumulation gravitaire, coulées sèches (autotamisage), concrétionnement			
		b	0,80 m	Cailloutis à gros blocs, argileux, brun- rouge	Démantèlement du toit, Cryoclastisme, Infiltrations, percolation			
	X	α	0,40 m	Cailloutis moyen à matrice beige claire	Éboulis d'entassement, cryoclastique, localement érodé			
		β	0,20 m	Patit cailloutis à matrice beige claire				
	6a		0,30 m	Lit de granules, gravier, petits cailloux	Action du gel prépondérante, résidualisation, ruissellement			
	X	γ	0,30 m	Cailloutis moyen, anguleux, ouvert	Entassement gravitaire issu des parois, fragmentés par le gel (autotamisage)			
		base	0,40 m	Cailloutis moyen, sables rosés plus ou moins colmaté				
	6	b	2 m	Dépôt hétérométrique anguleux, relativement ouvert	Éboulis gravitaire, d'entassement affecté par le gel, granoclassement localisés. Ruissellement, résidualisation			
		n						
	6 base		0,60 m	Castine terreuse	Éboulis d'entassement et gravitaire, Ruissellement, percolation (autotamisage)			
		inf.	0,30 m	Éboulis grossier ouvert				
7	a	0,50 m	Cailloutis hétérométrique, massif, ouvert, rouge	Accumulations gravitaires et coulées sèches Gel secondaire				
	a'	0,40 m	Lentille riche en fraction sableuse					
	b	0,40 à 1 m	Cailloutis ouvert désordonné					
7	c	0,40 m	Diamicton à matrice jaune orange	Processus gravitaires dominant : dynamique d'entassement + coulées sèches. Matrice infiltrée d'origine diverse infiltration d'apports terreux				
	d	0,05-0,20 m	Limon jaune clair gras au toucher					
	e	0,20 m	Diamicton brun rouge					
	f	0,20 m	Sables et granules carbonatés à oncolites		Sédimentation de transition : fin du concrétionnement, début du processus gravitaire			
	f'	0,15 cm	Cailloutis et blocs alignés					
	a	0,20 m	Tufs carbonatés ± indurés		Sédimentation biochimique + égouttures			
8b	0,05 à 0,30 m	Cailloutis sablo-argileux brun	Chutes gravitaires, démantèlement du toit, arrivées matricielles, discrète sédimentation chimique					
8b'	0,60 m	Cailloutis ouvert à blocs alternant avec matrice terreuse						
8b''	0,30 m	Cailloutis sablo-limoneux beige						
8	c	0,75 m	Édifice stalagmitique à concrétions boursoufflées en choux-fleur	Concrétionnement, tassement				
	d	> 1 m	Chaos de blocs anguleux et de concrétions	Ouverture du karst : effondrement gravitaire des parois, du plafond, démantèlement des massifs de concrétions				
	e		Plancher stalagmitique	Puissants épisodes de concrétionnement d'âge interglaciaire (?)				
g	> 1,70 m	Plancher stalagmitique très cristallisé						
basal	9		Argiles hétérogènes brunes à rouges + fragments de spéléothèmes	Remaniement d'argiles karstiques (soutirage, fissuration, coulées boueuses). Édification de concrétions jaunes (poupées carbonatées)				
	10		> 1,30 m	Argiles karstiques jaunes très anciennes	Argiles de décantation de fond de karst, en place, d'âge Tertiaire (?)			

Tab. 1 : Coudoulous I - Succession stratigraphique et principaux processus dynamiques (J. Jaubert *et al.* 2002).

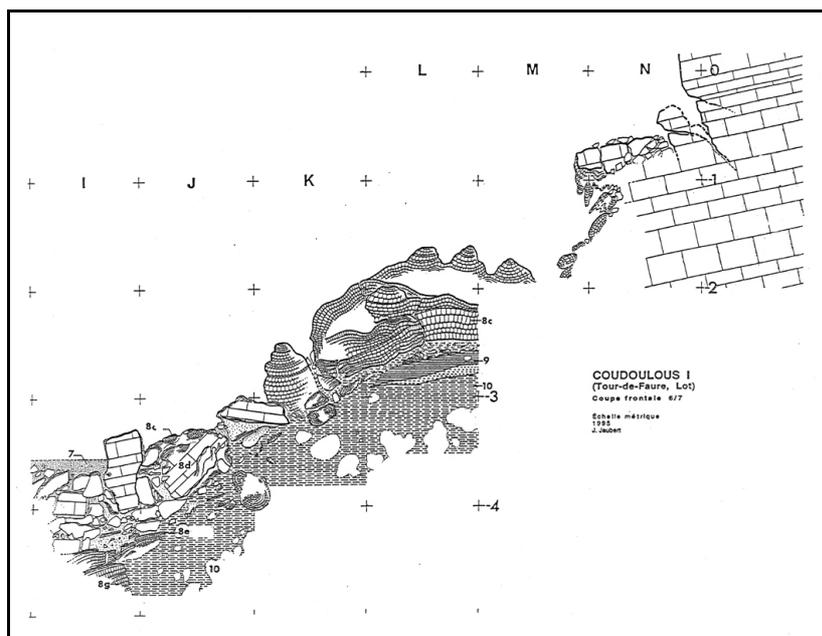


Figure 4 :  
Coudoulous I :  
relevé  
stratigraphique  
des couches  
profondes – coupe  
frontale 6/7 (J).  
Jaubert *et al.*

## B – L'OUVERTURE SUR LE CAUSSE

- Un chaos de concrétions, blocs et dalles parfois métriques s'accumule ensuite (8d). Ce puissant démantèlement des parois peut être en relation avec le déséquilibre engendré par le soutirage. Des communications s'établissent alors avec la surface du causse, comme le montre l'apparition d'artefacts lithiques et de restes de faune dans le remplissage.

## C – L'AVEN

- Puis, la salle s'assèche et les influences extérieures s'affirment : des concrétionnements de moins en moins évolués (*plancher 8c, tufs 8a, sables carbonatés 7f*) alternent sur plus d'un mètre d'épaisseur avec des dépôts clastiques (*8b, 7e, 7x, 7d, 7c, 7 indivise*) alimentés à la fois par le démantèlement des calcaires encaissants et par l'introduction de constituants du plateau (matrice terreuse, cailloux du lapiaz).

Le pendage des couches montre qu'un cône s'édifie alors à partir d'une ouverture du toit située au Sud-Est de la salle.

Outre des éboulements gravitaires, des coulées sèches, c'est-à-dire des glissements collectifs de cailloux sans cohésion, semblent participer à l'accumulation. La solifluxion peut également être pressentie (structure lamellaire et forte polarisation des vestiges dans *7 indivise*). Elle correspond à un lent déplacement des éléments sur la pente sous les effets des alternances du gel et du dégel et indiquerait donc une première pénétration du froid dans la salle.

- Au-dessus (*7b à 3 – fig. 5*), un ensemble épais de plus de trois mètres matérialise la poursuite du démantèlement des calcaires. L'ouverture du plafond s'agrandit et l'organisation en cône des dépôts s'affirme.

Aux abords des parois, les sédiments sont d'abord très hétérométriques et essentiellement rapportables à des processus gravitaires (*7b à 5b*) : éboulements sur le cône au Sud, chutes par fragmentation des parois et du plafond au Nord. Puis, l'accroissement de l'homométrie des cailloux (*5a à 3*) évoque une calibration par exposition au gel et à la météorisation, peut-être favorable à l'instauration de coulées sèches (?). De rares

intercalations plus matricielles ont pu être sporadiquement mobilisées par la solifluxion puisqu'une structure lamellaire et un granoclassement vertical s'observent dans 7a' et 6a.

Vers le centre de la salle, le gel secondaire et des lessivages ont affecté la formation. Ils peuvent trahir le développement d'un névé dans l'ouverture de l'aven ou d'un bouchon de glace à l'intérieur de la séquence, à l'image de ce que l'on observe actuellement en contexte périglaciaire.

Enfin, un soutirage a ouvert des fissures pluridécimétriques qui ont recoupé cet ensemble au Sud.

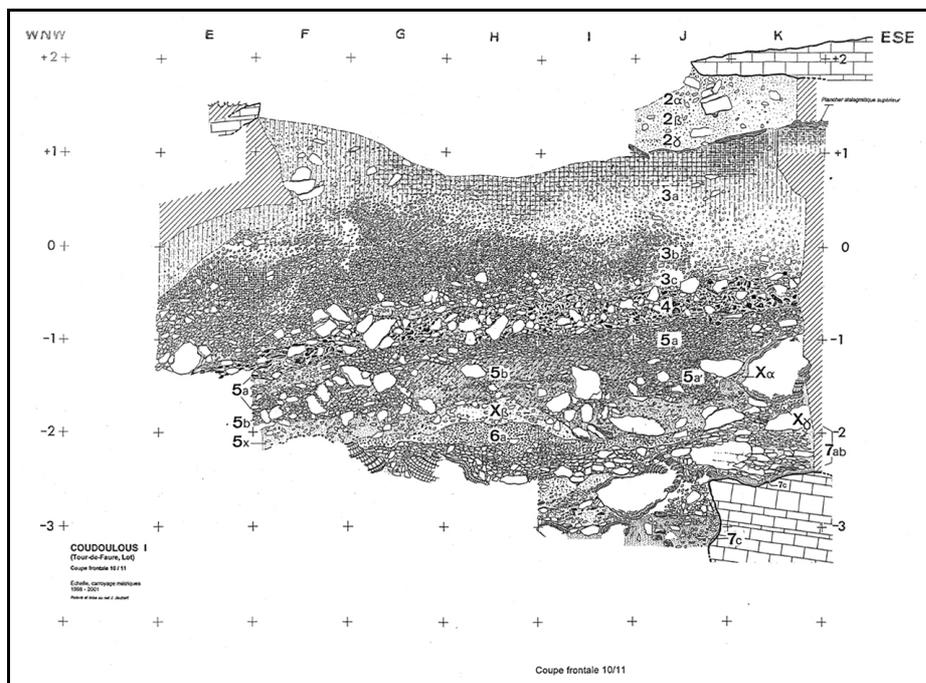


Figure 5 :  
Coudoulous I :  
relevé  
stratigraphique  
de la coupe  
frontale de  
référence 10/11  
(J. Jaubert et al.  
2002).

- La couche 4 qui s'interstratifie témoigne d'une arrivée massive de constituants du plateau dans la salle et de perturbations liées à la fonction de piège que les hommes ont fait jouer à l'aven : éboulements consécutifs au rabattage du gibier et à sa chute dans la cavité ; piétinements sur le cône d'éboulis dus à l'affolement des animaux et aux activités humaines (mélange des cailloux du causse et de la salle, étalement de la formation, enfoncement des vestiges dans le toit de 5a, désorganisation des éléments vers l'amont du cône...). Malgré les biais apportés par l'anthropisation, cette formation évoque un moment suffisamment clément pour que des sols brun rouge se forment sur le causse et qu'un lapiaz se développe sous un couvert végétal (cailloux arrondis).

Après leur dépôt, les os ont été fragmentés sur place et les restes de plusieurs centaines de bisons ont été tassés sur seulement quelques décimètres d'épaisseur. Des altérations chimiques ont affecté à la fois les os (basiques) et les silex (acides), parfois profondément puisque quelques-uns de ces derniers sont entièrement nécrosés et flottent. Outre une éventuelle préparation par la décomposition de la matière organique, cette double action conduit à envisager des eaux froides, donc agressives pour les carbonates, qui en se saturant en cations dans le remplissage seraient devenues très basiques et auraient ainsi pu attaquer la silice.

- Un plancher stalagmitique discontinu (*plancher supérieur*), épais d'une dizaine de centimètres, scelle cet ensemble au Nord et au Sud, aux endroits où subsistait le plafond. Il matérialise un arrêt des apports détritiques au profit d'une sédimentation biochimique et

suggère, à nouveau, un épisode clément. Par places, ce plancher est relayé par une cimentation plus ou moins poussée des dépôts sous-jacents.

- L'unité 2, épaisse de 1 à 2 m, tend à achever le colmatage de la salle (fig. 5 et 6). Des passées rouges, vraisemblablement reprises des sols du causse, cèdent progressivement la place à des passées grises, limoneuses, micacées, qui témoignent d'apports éoliens alimentés par la déflation des alluvions du Lot. Ce développement de la matrice a permis la mise en œuvre soit d'écoulements boueux, soit, plus probablement, de solifluxions, puisque les cailloux sont polarisés et puisqu'une fine structure lamellaire se dessine. De telles dynamiques indiquent le retour de conditions rigoureuses.

- La pédogenèse récente et des colluvionnements de sols du causse (US 1) couronnent la séquence.



Fig. 6 : Coudoulous I : partie supérieure du remplissage I (US 1 et 2) – secteur Sud (photo W. O'yl).

## II – CHRONOLOGIE

Il est difficile de situer de tels remplissages dans un cadre chronologique à partir des seules données de la lithostratigraphie, les caractères observés pouvant s'accorder avec de multiples épisodes du Pléistocène. L'interprétation proposée correspond à l'enchaînement le plus simple et s'accorde notamment avec les données des datations physiques et de la faune.

- L'unité 1, par sa position et sa pédogenèse, peut être rapportée à l'Holocène (OIS 1 – fig. 7).

- L'unité 2, qui témoigne de conditions périglaciaires, comporte une forte composante éolienne et se trouve en fin de séquence, s'accorde avec les froids du dernier cycle glaciaire (OIS 4 à 2). Il n'est pas possible de préciser quels moments sont enregistrés, mais il s'agit vraisemblablement plutôt des épisodes anciens, puisque la sédimentation a cessé à partir du moment où l'aven s'est trouvé colmaté.

- Le plancher supérieur, situé immédiatement au-dessous et assimilable à des conditions clémentes, peut alors dater du stade isotopique 5 ; hypothèse confirmée par les dates U/Th qui vont de 99 à 112 ka (Couchoud 2006 et informations orales). Les passées

rouges qui ont été reprises à la base de l'US 2 trahissent le développement d'une pédogenèse assez évoluée sur le causse.

- En conséquence, l'ensemble sous-jacent, qui s'étend de 3 à 7c et est marqué par des épisodes rigoureux, se serait mis en place durant le stade 6, conformément à l'âge moyen de l'ordre de 150 ka obtenu par ESR et par U/Th pour le complexe archéologique 4 (Jaubert et al. 2005). Ce dernier, s'il se trouve bien dans un épisode plus doux, pourrait, par exemple, correspondre au sous-stade 6.5 ou 6.3 (?).

- Dans ces conditions, le premier plancher important qui apparaît dessous, 8c, doit au minimum être rapporté au stade 7, ou même à un stade clément plus ancien (OIS 9 ?) selon l'importance et la signification — climatique ou dynamique — de la coupure qui apparaît entre 7c et 7b.

- L'âge des formations sous-jacentes est encore plus incertain. Une date de  $688 \pm 288$  ka permet cependant de rattacher encore le gros plancher poreux (8e) au Pléistocène (I. Couchoud information orale). Peut-être ne correspond-il, en fait, qu'à la base du précédent (8c), dont il ne serait séparé que par le démantèlement des parois de la salle. En revanche aucun argument ni aucune date (équilibre séculaire) ne permettent de préciser le moment de formation du plancher 8g qui le précède et qui scelle les vieilles argiles karstiques.

- Enfin, sur la base d'études régionales, le karst aurait été creusé au Paléocène ou au début de l'Eocène et colmaté à la fin de l'Eocène ((Astruc 1988, Astruc *et al. op. cit.*, Bruxelles *et al.* sous presse).

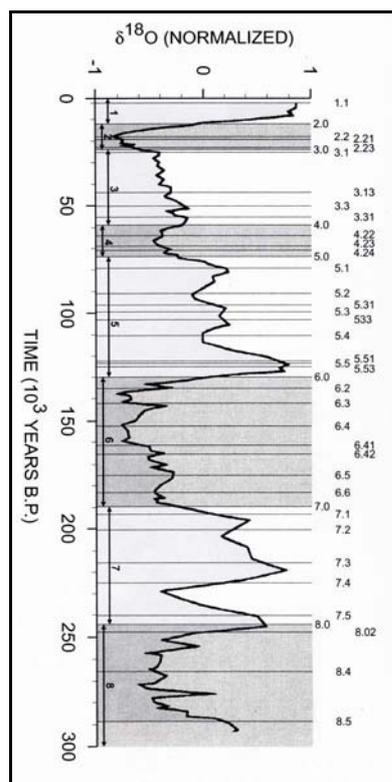


Figure 7 : Courbe chrono-climatique (Martinson *et al.* 1987 in Bradley 1999).

## Bibliographie

ASTRUC J.-G., 1988. – Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. *Doc. B.R.G.M.*, n° 133, 149 p.

ASTRUC J.-G, REY J., PELISSIE T., LORBLANCHET M., VIANEY-LIAUD M. et GALHARAGUE J., 1992. – Saint-Géry. Carte géologique de la France à 1/50 000°, 857. Orléans, BRGM, 57 p.

BRADLEY R. S., 1999. – *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary*. Harcourt/Academic Press, 613 p.

BRUGAL J.-Ph. *et al.*, 2000. – Grotte de Coudoulous II (Tour-de-Faure, Lot). Rapport trisannuel de Fouille Programmée, Bilan 1997-2000, Min de la Culture, Service Régional de l'Archéologie Midi-Pyrénées, 138 p.

BRUXELLES L., ASTRUC J.-G. SIMON-COINÇON R. et CIZSAK R., sous presse. – Histoire des paysages et préhistoire : L'apport de la connaissance géomorphologique du Quercy pour la compréhension de l'environnement paléolithique. *Paléo*, env 15 p

COUCHOUD I. 2006. – *Etude du  $\delta^{18}O$  et du  $\delta^{13}C$  des spéléothèmes en relation avec les occupations préhistoriques du Sud-Ouest de la France*. Thèse de l'Université de Bordeaux I, 346 p.

JAUBERT J., BRUGAL J.-Ph., JEANNET M. ; KERVAZO B *et al.*, 2002. – Coudoulous I (Tour-de-Faure, Lot). Rapport intermédiaire de Fouille Programmée triennale (2001-2003), Min de la Culture, Service Régional de l'Archéologie de Midi-Pyrénées, 64 p.

JAUBERT J., KERVAZO B., BAHAIN J.-Ph., BRUGAL J.-Ph., CHALARD P., FALGUERES C., JARRY M., JEANNET M., LEMORINI C., LOUCHARD A., MAKSUD F., MOURRE V., QUINIF Y. et THIEBAULT C., 2005. – Coudoulous I (Tour-de-Faure, Lot), site du Pléistocène moyen en Quercy : Bilan pluridisciplinaire. N. MOLINES, J.-L. MONNIER et M.-H. MONCEL dir. : *Données récentes sur les peuplements du Paléolithique inférieur et moyen en Europe*. Actes du colloque de Rennes, Univ. de Rennes, 22-25 sept. 2003, BAR, 1364, p. 227-251.

MARTINSON D. G., PISIAS N. G., HAYS J. D., IMBRIE J., MOORE T. C. et SHACKLETON N. J., 1987. – Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.

## GEOLOGIE DE COUDOULOUS II

**B. Kervazo, J.-Ph. Brugal, L. Bruxelles, C. Ferrier, D. Keravis, S. Konik**

Coudoulous II correspond à une petite grotte située à moins de 20 m de Coudoulous I (cf. relevé F. Rouzard dans la partie consacrée à Coudoulous I). Elle s'ouvre dans le même étage karstique que cette dernière, 140 m au-dessus de la confluence du Lot et du Célé, et a été, elle aussi, creusée dans les calcaires micritiques du Callovien (?) (Astruc et al. 1992).

### I - LITHO-STRATIGRAPHIE ET DYNAMIQUE

La séquence géologique étudiée peut être rattachée à trois grandes étapes.

#### A – LE KARST INTERNE

La morphologie des parois, notamment la présence de coupoles au plafond, indique un creusement de la cavité en régime noyé ou épi-noyé.

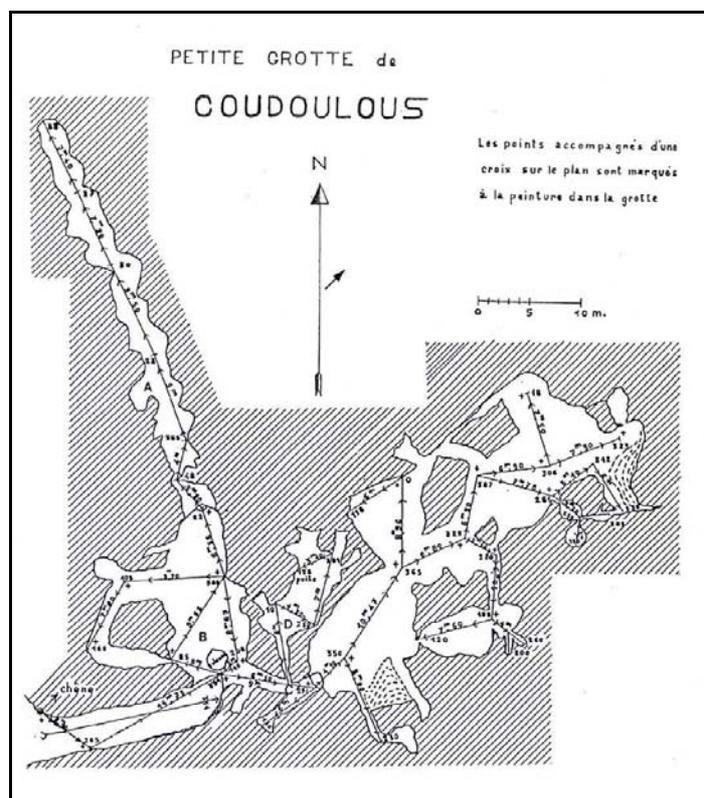


Figure 1 : Coudoulous II :  
topographie générale  
(d'après G. Maury, 1959) –  
A : Galerie Nord ;  
B : Salle fouillée ;  
C : Galerie Est ;  
D : Conduit inférieur  
(Brugal *et al.* 2000).

Les dépôts mis en place durant cette étape de karst interne sont visibles sur plus de 10 m d'épaisseur cumulée. On les observe en particulier dans une étroite ouverture qui passe sous le secteur fouillé : le conduit inférieur (fig. 1). Ils sont formés par :

- de puissants piliers stalagmitiques corrodés (l'un d'eux mesure plus de 5 m de largeur) et par plusieurs générations de planchers qui peuvent dépasser 1 m d'épaisseur (fig. 2) ;
- des argiles rouges et grises, témoins d'un milieu de sédimentation très calme, qui ennoient les spéléothèmes.

L'ensemble évoque de longues périodes de régime vadose et de régime noyé, consécutives aux fluctuations du niveau phréatique.

Deux soutirages, au moins, ont affecté ces formations.

- Le premier est perceptible sur les piliers corrodés : dans le conduit inférieur le plus gros a été incliné d'une trentaine de degrés, tandis que dans la Salle principale le pilier  $\alpha$  a été cassé et sa partie supérieure est restée suspendue.

- Le second a décolmaté, au moins partiellement, le conduit inférieur. Il a alors probablement décollé les argiles sous un gros plancher qui forme maintenant le plafond de ce conduit.

Des limons sableux micacés, gris, lités, vraisemblablement originaires d'un paléo-Lot ou d'un paléo-Célé, ont ensuite envahi la cavité. Ils peuvent être arrivés directement depuis une perte, ou, plutôt, par mises en charge, puisque les soutirages qui les précèdent indiquent la présence de vides sous l'étage karstique. L'abondance des sables dans le dépôt ne peut alors s'expliquer que par la proximité du réseau actif sous-jacent. Le creusement du système hydrographique actuel semble donc amorcé.

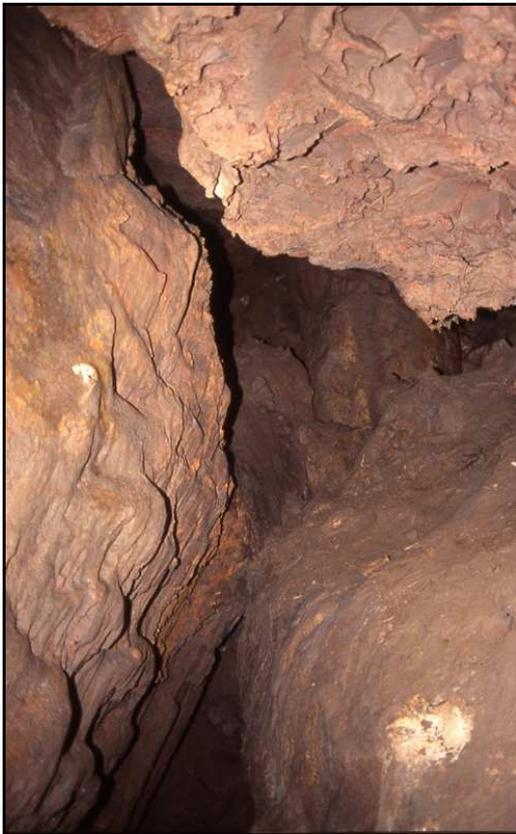


Figure 2 : Coudoulous II : vue du conduit inférieur (photo B. Kervazo).

## **B – OUVERTURE SUR LE CAUSSE**

La suite de la stratigraphie étudiée se trouve dans la séquence fouillée (fig. 1). Cette dernière est située au-dessus du conduit inférieur, dans une salle en partie occupée par un cône d'éboulis épais de plus de 3 m et accumulé à l'aplomb d'une diaclase.

Les limons sableux gris micacés – *couche 10* – qui se retrouvent sous ce cône permettent le raccord stratigraphique. Dans cette salle, ils ennoient partiellement un chaos de

dalles et de concrétions qui traduit une mise à l'équilibre des parois. L'effondrement peut être soit contemporain du dépôt des limons micacés, soit antérieur, par exemple associé au deuxième soutirage (f. ci-dessus), les limons sableux pouvant s'être infiltrés ultérieurement.

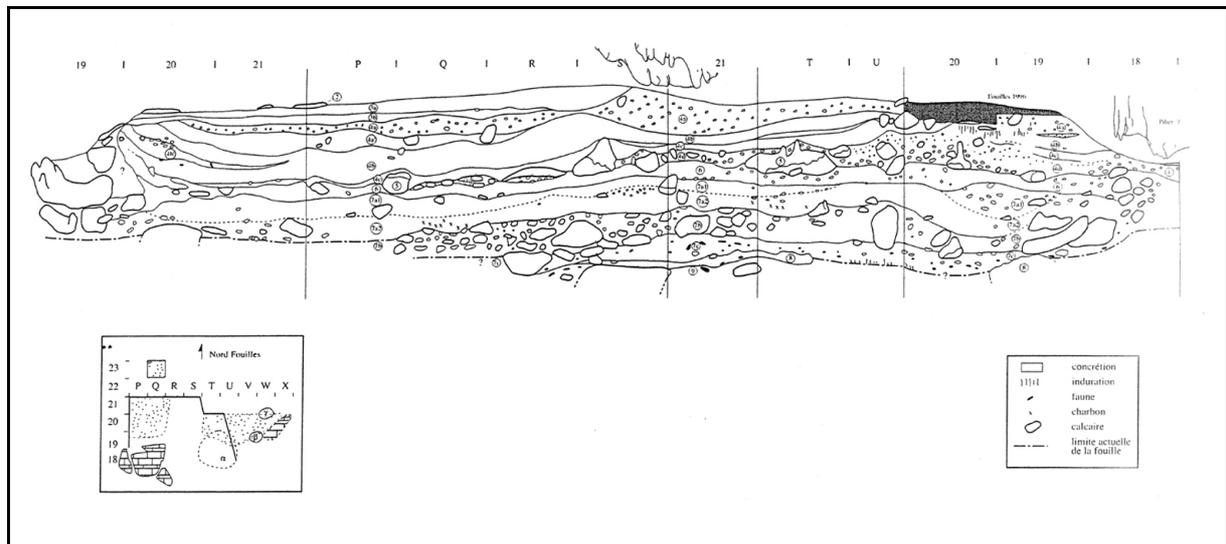


Fig. 3 : Coudoulous II : coupe développée du cône d'éboulis (Brugal *et al.* 2000).

Au-dessus apparaissent successivement (fig. 3 et 4) :

- un plancher stalagmitique, témoin d'une stabilisation du sol ;
- des limons gris beige – *couche 9* – avec abondants vestiges fauniques vraisemblablement apportés par écoulements boueux ou flottages puisqu'ils sont plaqués contre les dalles et concrétions du chaos qui émergent du sommet de 10. La présence de ces os trahit une ouverture de la cavité sur le causse dès cet épisode ;

- un plancher polyphasé, repère, jaunâtre, à l'aspect tufacé – *plancher 8* –, qui se retrouve dans différents endroits de la grotte, et dont la base cimente les os du sommet de 9. Comme les planchers précédents, il témoigne d'une stabilisation des arrivées détritiques au profit des processus (bio)chimiques. Ce type de dépôt est habituellement rapporté à des épisodes cléments.

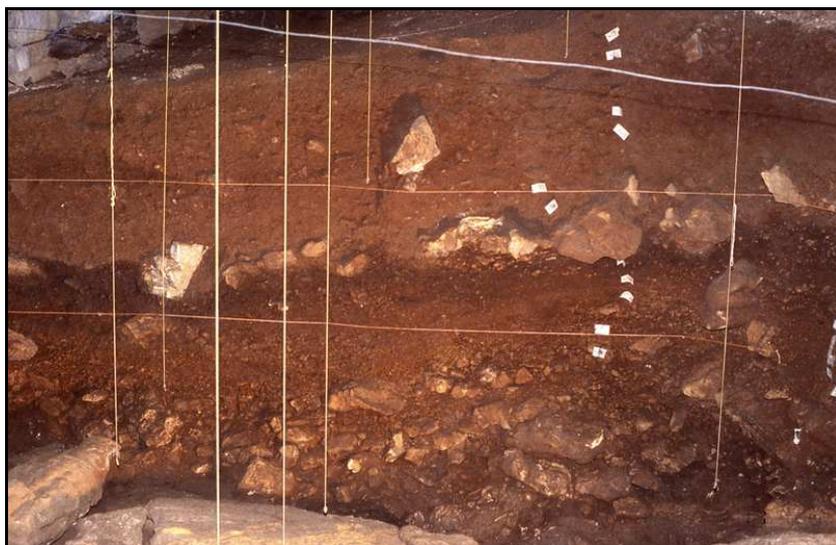


Figure 4 : Coudoulous II : stratigraphie du cône d'éboulis (photo B. Kervazo).

## C - EDIFICATION DU CONE

L'ouverture de la diaclase qui parcourt le plafond de la Salle préside ensuite à l'accumulation. Une nouvelle phase de soutirage lui est vraisemblablement associée. Elle poursuit le décolmatage du conduit inférieur comme le montre la position suspendue du plancher 8 dans une petite niche.

Au niveau du secteur fouillé il en résulte :

- un infléchissement des dépôts vers le conduit inférieur ;
- l'arrivée d'un sédiment terreux – *base de la couche 7* – repris des sols du causse. Le faible calibre des clastes qu'il renferme évoque l'ouverture d'un passage encore étroit vers la surface ;
- puis un démantèlement du toit de la salle et des lèvres de la diaclase qui accumule un chaos de blocs et de concrétions – *7b* – ;
- une intercalation de lentilles caillouteuses – *7a* – ;
- une nouvelle arrivée de constituants de sols – *6* –, notamment humiques (*6a*), qui trahit des pédogenèses sur le causse ;
- enfin une chute de blocs – *5* –.

Plusieurs concrétionnements s'intercalent (*7b*, limite *7b-7a*), matérialisant des moments de stabilisation des arrivées détritiques. Le dernier recouvre les blocs de *5*.

Au delà – *couches 4 et 3* –, la dynamique sédimentaire change, apparemment en raison d'une dégradation des conditions environnementales :

- des apports éoliens semblent s'instaurer sur le causse puisque, comme à Coudoulous I, la matrice devient limoneuse ;
- le gel rentre dans la Salle. Il :
  - amenuise les clastes par cryoclastisme ;
  - pénètre dans le sol – une structure lamellaire s'esquisse partout –, engendrant vraisemblablement des solifluxions ;
  - est à l'origine de cryoturbations qui affectent les sédiments sur 60 à 80 cm d'épaisseur. Les déformations avec figures de charge dans la partie centrale du cône et plis déjetés vers sa périphérie évoquent la fonte d'un pergélisol riche en glace (French, 1996 ; Murton et French, 1993 ; Vandenberghe, 1992).

Par suite des arrivées gravitaires par l'ouverture du plafond, le cône s'élève, finit par rejoindre la diaclase et la colmate. Les constituants externes ne peuvent plus pénétrer dans la Salle que lors de réouvertures sporadiques, autorisées par de faibles rejeux. Une ambiance de karst interne tend alors à se ré-instaurer et un mince plancher – *2* – fossilise ponctuellement la séquence.

## II – CHRONOLOGIE

Cette succession conduit à proposer la chronologie suivante (fig. 5) :

- Le plancher superficiel a livré une date de 40 ka par U/Th (Quinif *in* Brugal *et al.*, 2000), mais a pu se déposer à différents moments et est toujours ponctuellement alimenté.
- Les dépôts supérieurs – au-dessus du "plancher" *5* – peuvent être rattachés aux froids du dernier cycle glaciaire. Sont vraisemblables : des moments du stade isotopique 4, notamment son début (amenuisement progressif des clastes à la base de la couche 4) et du

stade 3 (intercalations de sédiments rubéfiés au milieu de la couche 4 évoquant des pédogénèses issues de fluctuations plus douces).

- Dessous, les planchers et sols hérités du causse, semblent correspondre à des épisodes cléments du stade 5. Les dates U/Th récentes (Couchoud 2006 et informations orales) montrent qu'ils s'échelonnent du sous-stade 5a (dates aux alentours de 80 ka) pour le plancher 5, au sous-stade 5e, dernier interglaciaire vrai (dates vers 120 ka), pour le plancher 8.

Rappelons que le plafond de la Salle s'ouvre immédiatement après le dépôt de ce plancher.

- Les vestiges paléontologiques situés dessous – couche 9 – datent alors, au minimum, du stade 6, c'est à dire de l'avant dernier cycle glaciaire.

- L'âge des limons gris micacés est plus incertain. Compte tenu de l'altitude relative de 140 m, ils peuvent s'être déposés à un moment plus ou moins ancien du Pléistocène ou, au plus, à la fin du Pliocène, puisqu'ils suggèrent un encaissement du réseau hydrographique. Leur différence de degré d'évolution avec les vieilles argiles sous-jacentes témoigne d'une longue lacune.

- Pour ces vieilles argiles et les concrétions qu'elles ennoient, l'observation de la séquence seule ne suffit plus et il faut se référer à des études régionales, comme celles de J.-G. Astruc (Astruc 1988, Astruc *et al. op. cit.*) ou de L. Bruxelles (Bruxelles *et al.* sous presse)

:

- l'étage karstique se serait mis en place au Paléocène et à l'Eocène ;
- les gros piliers peuvent alors s'être édifiés lors d'une phase ancienne de l'histoire paléogène du karst ;

- les argiles et les gros planchers qui les fossilisent pourraient être contemporains de la remontée du niveau de base induite par l'arrivée des molasses pyrénéennes. Ce blocage du système karstique a aboutit au colmatage de l'ensemble des cavités à partir de la fin de l'Eocène.

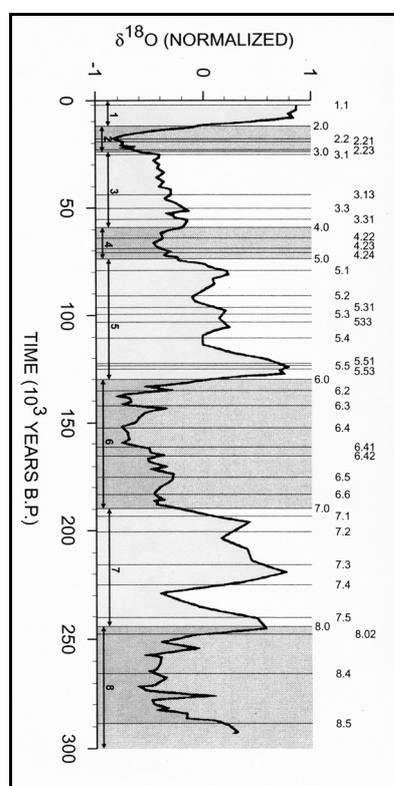


Fig. 5 : Courbe chronoclimatique (Martinson *et al.* 1987 in Bradley 1999).

## CONCLUSION

Les séquences des deux secteurs fouillés de Coudoulous se complètent :

- Coudoulous II a enregistré davantage de données sur l'histoire ancienne du karst et, peut être, sur le début du creusement des vallées actuelles.

- Coudoulous I a été le siège d'une sédimentation active et d'une occupation humaine et animale durant le Pléistocène moyen.

- Enfin, Coudoulous II prend le relais et les dépôts accumulés grâce à l'ouverture de la diaclase couvrent essentiellement le Pléistocène supérieur, notamment le dernier interglaciaire et la période qui lui succède.

## **Bibliographie**

ASTRUC J.-G., 1988. – Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées. *Doc. B.R.G.M.*, n° 133, 149 p.

ASTRUC J.-G., REY J., PELISSIE T., LORBLANCHET M., VIANEY-LIAUD M. et GALHARAGUE J., 1992. – Saint-Géry. Carte géologique de la France à 1/50 000<sup>e</sup>, 857. Orléans, BRGM, 57 p.

BRADLEY R. S., 1999. – *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary*. Harcourt/Academic Press, 613 p.

BRUGAL J.-Ph. *et al.*, 2000. – Grotte de Coudoulous II (Tour-de-Faure, Lot). Rapport trisannuel de Fouille Programmée, Bilan 1997-2000, Min de la Culture, Service Régional de l'Archéologie Midi-Pyrénées, 138 p.

BRUXELLES L., ASTRUC J.-G. SIMON-COINÇON R. et CIZSAK R., sous presse. – Histoire des paysages et préhistoire : L'apport de la connaissance géomorphologique du Quercy pour la compréhension de l'environnement paléolithique. *Paléo*, env 15 p

COUCHOUD I. 2006. – *Etude du  $\delta^{18}O$  et du  $\delta^{13}C$  des spéléothèmes en relation avec les occupations préhistoriques du Sud-Ouest de la France*. Thèse de l'Université de Bordeaux I, 346 p.

FRENCH H.M., 1996. – *The periglacial environment*. Longman, 2<sup>ème</sup> édition, 341 p.

MURTON J.-B. et FRENCH H.-M., 1993. – Thermokarst involutions, Summer Island, Pleistocene Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 4 (3), p. 217-229.

QUINIF Y., 2000 – Bilan 1993-1999 in : Datations. In : *Brugal et al., Grotte de Coudoulous II (Tour-de-Faure, Lot), Rapport Trisannuel de Fouille Programmée, Bilan 1997-2000 auprès de la DRAC Midi-Pyrénées*, Service Régional de l'Archéologie, p. 61-64.

VANDENBERGHE J., 1992. – Cryoturbations : A sediment structural analysis. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3, p. 343-352, 6 fif.

MARTINSON D. G., PISIAS N. G., HAYS J. D., IMBRIE J., MOORE T. C. et SHACKLETON N. J., 1987. – Age dating and the orbital theory of the ice ages : development of a high resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.

## Paléontologie et Archéologie du site de Coudoulous

**J.Ph.Brugal**, UMR 6636-LAMPEA, MMSH-Aix en Provence, brugal@msh.uni-aix.fr)

Les gisements de Coudoulous désignent plusieurs cavités karstiques possédant d'importants remplissages sédimentaires ayant livré des faunes fossiles et des vestiges lithiques du Paléolithique. Il s'agit de dépôts formés essentiellement en contexte d'aven et la stratigraphie, parfois complexe montre des niveaux à caractère paléontologique et d'autres avec des indices plus ou moins forts d'activités des hommes de Neandertal.

### I- Ensemble inférieur

L'ensemble inférieur de Coudoulous II (c.9) représente un véritable 'bone-bed', avec de très nombreux restes osseux et séries dentaires, très bien conservés qui se retrouvent sur et entre de gros blocs d'effondrement (dalles calcaires, fragments de plancher). Plus de 3 000 restes fossiles proviennent d'une surface de moins de 10 m<sup>2</sup> et quinze espèces ont été recensées, essentiellement des herbivores (seulement 3,5% de carnivores, malgré une bonne diversité pour ces derniers). Par ordre d'abondance, nous pouvons citer :

- Herbivores : Cerf, Bison, Renne, Cheval, Bouquetin, Mégacéros ?, Mammouth, Rhinocéros laineux ;
- Carnivores : Loup, Renard, Putois des steppes, Ours, Lion, Hyène (ces trois derniers avec très peu de vestiges) ;
- Lagomorphes : Lièvre.

Les Cervidés et les grands Bovidés, et dans une moindre mesure les Equidés d'un coté, et les Canidés de l'autre, dominent l'assemblage. La diversité spécifique est forte, marquée par des taxons d'environnements froids. Il s'agit d'une association proche des milieux arctiques développant des biotopes de plaines ouvertes et quelques bosquets arborés en bord de rivière mais aussi sur les plateaux environnants. D'un point de vue chronologique, les formes présentes (loup, cheval, mammouth en particulier) indiquent une période froide de l'avant-dernier glaciaire qui pourrait alors correspondre au stade isotopique 6, fini rissien. Cette interprétation est confortée par la microfaune avec notamment le Lemming à collier, une forme intermédiaire de rat taupier, et des taxons particuliers comme le Mulot pygmée et le Mulot rayé, hôtes actuels des vastes plaines d'Europe centrale et orientale.

L'assemblage de grands mammifères se caractérise par de nombreux os entiers, parfois en semi-connexion et une relative dominance de parties distales des pattes (basipodes, métapodes et phalanges) et du squelette axial (vertèbres, côtes). Certaines pièces ou taxons sont exceptionnels tels que des arrière-crânes de renne ou l'existence d'un représentant du putois des steppes qui vit de nos jours en Europe orientale. Le Bison est représenté par les deux sexes et désigne la même espèce que la couche 4 de Coudoulous I, le Bison des steppes. Aucun outil lithique n'a été retrouvé dans cette couche et il n'y a pas non plus de traces d'origine humaine; les marques occasionnées par les carnivores (coup de dents, rognages) sont très faibles.

Bien que le dépôt final de la couche 9 semble montrer un certain degré de perturbation, en relation certaine avec la présence d'un sol inégal et parsemé de blocs, peut-être complété par des actions de l'eau, l'ensemble évoque une accumulation naturelle, soit d'individus tombés accidentellement dans la cavité (pour les herbivores) ou attiré par la présence de carcasses (carnivores).

## II - Ensemble moyen

Cet important ensemble comprend une succession de niveaux avec au moins 4 couches principales. Le départ et la fin de cet ensemble (respectivement couche 8 et 5), sont en fait des périodes de concrétionnement avec un fort développement d'un plancher à la base (surtout visible dans la partie Est du site) et de stalagmite-plancher discontinu plus localisé et se mettant en place au sommet d'une passée de blocs décimétriques recouvrant toute la surface.

L'interprétation chronologique de l'ensemble moyen est confortée par les données biologiques (cf. ci-dessous) et il est rapporté au stade isotopique 5 (130-70 000 ans), comprenant plusieurs sous-stades qui seraient effectivement enregistrés à Coudoulous II. Cet ensemble débiterait alors avec l'interglaciaire *sensu stricto* (plancher 8) et développerait les différents sous-stades à caractère chaud puis froid. Il faut relever que la présence bien marquée du stade 5 dans une cavité est rarement observée dans les sites du Sud de la France, car il correspond à une période de forte érosion qui généralement ravine et détruit les dépôts.

Une des caractéristiques de cet ensemble est l'existence de niveaux sombres, noirâtres, révélant une composante humique forte reflétant la vidange et le piégeage de sols (horizon organique) développés à l'extérieur dans le karst. On constate une certaine cyclicité dans la mise en place de ces niveaux (n mini=6), entrecoupés de passées plus rougeâtres composées d'une fraction détritique caillouteuse avec de petits blocs anguleux ou provenant du lapiaz et des fragments de concrétions. On parle d'éboulisation gravitaire et de reprise de sol et, des phases de concrétionnement plus ou moins diffus sont aussi enregistrées dans ces niveaux.

Les associations fauniques sont relativement plus clairsemées (à l'exception d'un niveau basal de la c.7) et montrent une certaine variation verticale. Toutefois, globalement, elles concernent des espèces nettement tempérées et aucun élément froid n'est reporté. Les Cervidés sont les plus abondants avec en particulier le Daim (vers la base) et le Chevreuil (notamment c.6) ; ils sont accompagnés de restes peu fréquents de Cerf, de grands Bovidés, Capridés et Suidés (Sanglier). La présence de nombreux restes de juvéniles, souvent fragmentés, ne permet pas toujours de pousser la diagnose systématique. Parmi les carnivores, on relève l'existence du Loup et du Lynx, du Renard et quelques pièces de Blaireau et d'Hyène. Les Lagomorphes sont également présents avec une petite dizaine de rongeurs, et près de 7 espèces d'oiseaux ; la microfaune est cependant peu abondante en nombre de restes. Suivant la structure des populations (beaucoup de jeunes individus), la représentation squelettique (avec une relative dominance du squelette axial), le faible taux d'os rongés ou d'action humaine (mais cf. infra), la relative complétude des ossements, l'interprétation d'une origine naturelle (piégeage) est également proposée à cette collection.

Un point intéressant concerne l'existence de charbons de bois dans cet ensemble, retrouvé dans différents niveaux, mais avec un pic de fréquence et des lits diffus charbonneux dans un niveau médian : les taxons représentés sont le Charme, le chêne à feuillage caduc et des feuillus mésophiles (Erable, Prunellier, Frêne) suggérant un stade forestier et un milieu relativement fermé dans une ambiance tempérée. L'origine de ces charbons pose problème pouvant être anthropique mais aussi naturel.

Cependant, à côté de ces témoins biologiques, a été découvert une petite série lithique (env. 70 pièces). Les matières premières sont variées : silex, quartz, quartzite, metabasalte, argilite....avec des fragments d'éclats, mais aussi des nucléus, des choppers et des galets percutés. Sur un plan typo-technologique, et malgré la faiblesse numérique de la série, cette industrie se rapporte au Paléolithique moyen *sensu lato*. Enfin, il faut signaler à la fois la

présence rare de micro fragments osseux brûlés, et surtout de 10 restes osseux montrant des stries occasionnées par un outil lithique tranchant ; ce sont, la plupart, des fragments de vertèbres et de côtes. L'ensemble des faits permet alors de suggérer l'intervention discrète de l'homme dans la cavité, sur des parties de carcasses présentes et conservées dans ces lieux, jouant le rôle de 'frigo' naturel. On retrouve le même comportement de charognage précédemment décrit pour l'ensemble inférieur de Coudoulous I. Des groupes humains auraient alors séjourné autour du site, pour des durées relativement courtes et vraisemblablement répétées, dans le but de récupérer de la viande (Brugal et Jaubert, 1991). Il montre une réelle connaissance non seulement des lieux, mais du potentiel offert comme source d'approvisionnement carnée.

### III - Ensemble supérieur

L'ensemble supérieur recouvre les couches 4 à 2, avec cette dernière désignant un plancher fin discontinu scellant le remplissage. Des datages donnent des âges autour de 40 000 ans, soit contemporain d'une phase clémente du stade isotopique 3. Par la suite, le remplissage atteint rapidement son maximum, avec quelques restes de renne retrouvés en surface, et va colmater la diaclase et fermer ainsi la cavité.

Cet ensemble montre également plusieurs niveaux, dont un basal qui livre essentiellement de nombreux restes de léporidés, le lièvre variable ainsi que la présence de lemming, dans une matrice de petit cailloutis cryoclastique. Les dépôts sont relativement caillouteux emballés dans une argile rougeâtre. Près de 17 espèces de moyens à grands mammifères ont été découvertes (avec plus de 1500 restes) :

- Herbivores : Cerf, Bison, Renne, Chamois et, moins abondant, Cheval hydruntin, Cheval caballin, Sanglier, Chevreuil, Bouquetin ;
- Carnivores : Loup, Hyène des cavernes et, moins abondant, Panthère, Renard, Ours brun, Blaireau, Putois.

La microfaune est rare en nombre de restes, mais elle est diversifiée avec près de 9 taxons, et une dizaine d'espèces d'oiseaux (dont le vautour fauve par ex.).

Il s'agit d'une association plus composite avec des espèces froides et plus tempérées, correspondant à un climat somme toute rigoureux et relativement ouvert, mais conservant des taxons forestiers. Cette particularité est probablement à mettre en relation avec des facteurs topographiques locaux qui ont contribué à conserver des espèces tempérées pendant les périodes les plus froides (notion de zone refuges).

L'étude taphonomique permet de définir les principales caractéristiques des assemblages : les herbivores montrent un bon pourcentage de sujets juvéniles (plus de 20%) alors que les carnivores sont tous adultes, tous les éléments du squelette sont présents, la fragmentation (cassure naturelle sur os déjà sec) est importante pour les os longs, la conservation différentielle est limitée, le taux de morsures et rognages de la part des carnassiers est faible (e.18%). L'origine de cet assemblage est essentiellement naturelle et on peut écarter l'utilisation de la cavité comme repaire de carnivores, bien que ceux-ci soient intervenus sur le stock osseux.

Quelques vestiges lithiques ont également été retrouvés dans cet ensemble (env. 35), et s'intègrent parfaitement avec ceux découverts dans l'ensemble sous-jacent ; de même, quelques charbons de bois sont signalés. Toutefois, au contraire du cas précédent, aucune marque de découpe n'est observable sur les ossements ainsi que des traces d'impact ou des fractures sur os frais. Il n'est pas possible ici de démontrer d'une quelconque action humaine, et il apparaît possible que les rares témoins anthropiques proviennent du remaniement des séjours précédents. Ceci démontre de la nécessité d'analyses rigoureuses nécessaires avant

d'affirmer une relation causale entre objets (ici os et outils lithiques) simplement retrouvés ensemble. En effet, la simple association entre ces deux registres ne suffit pas toujours, en particulier pour les périodes les plus anciennes, à affirmer d'un comportement strictement humain et il faut alors se garder de pousser plus avant les interprétations paléolithographiques.

## **Conclusions sur Coudoulous I et II**

Les gisements de Coudoulous sont uniques pour l'apport d'informations concernant le Pléistocène moyen et supérieur de la région quercynoise, et au-delà. De nombreux résultats couvrent les champs de la géologie et des phénomènes karstologiques, de la paléontologie et la succession des paléoenvironnements, de la taphonomie et de l'origine des accumulations fossiles en cavités, et enfin, sur des comportements humains de l'Homme de Néandertal et de ses prédécesseurs (Prénéandertaliens), entre 300 et 130 000 ans

Sur ce dernier point, nous avons pu mettre en évidence des stratégies variées et très originales. Tout d'abord, l'intervention humaine de faible ampleur sur des animaux morts accidentellement dans les avens ayant joué la fonction de piège naturel ; on parle de « charognage contrôlé et actif » (Brugal & Jaubert, 1991 ; Brugal *et al.* 1998 ; Brugal *et al.* 2001) : contrôlé car il nécessite la surveillance régulière de ces avens sur les plateaux calcaires et actif car il implique une intervention rapide avec l'avantage d'une compétition basse avec d'autres prédateurs autres que l'Homme. Ce comportement semble avoir existé depuis le Paléolithique inférieur (ex. sites d'Atapuerca en Espagne) et il est commun de trouver de petites séries lithiques 'perdus' dans les masses souvent importantes de fossiles de grands mammifères que livrent les dépôts en avens, même pour des périodes plus récentes.

Une deuxième stratégie d'acquisition de matière carnée, qui n'est pas sans rappeler ce premier comportement, est la présence dans la couche 4 de Coudoulous I d'un impressionnant charnier de Bisons associé à de très nombreux vestiges lithiques. Les hommes ont ici joué un rôle encore plus actif, de véritables chasseurs, en entraînant dans les pièges en avens des troupeaux ou partie de troupeaux. Cela dénote d'une redoutable efficacité impliquant une organisation sociale élaborée, non seulement avec un partage des tâches (chasseurs, rabatteurs) mais aussi une mémoire transmise sur plusieurs générations et portant sur l'éthologie du gibier, ses mouvements migratoires, et l'existence d'un lieu privilégié pour élaborer cette technique cynégétique. Le nombre d'individus estimé à plusieurs centaines laisse supposer en effet une récurrence d'occupations et de chasses au Bison sur une longue période de temps. Cette couche désigne un lieu d'abattage et de boucherie utilisé à de nombreuses reprises.

Dans les deux cas, l'Homme a su utiliser des cavités particulières et faire preuve d'observations qui depuis l'exploitation d'accident naturel à pu se transformer en choix culturel, organisé. La mise en évidence de cette 'dynamique préhistorique' fait des gisements de Coudoulous un exemple déterminant dans la connaissance paléolithographique des groupes humains du Passé.

## **Bibliographie sommaire**

Brugal J.-Ph. (1995), Middle palaeolithic subsistence on large bovids : La Borde and Coudoulous I (Lot, France) : Problems and methods. In «*The Role of Early Humans in the accumulation of European lower and middle palaeolithic bone assemblages*», S. Gaudzinski & E. Turner (dir.), Forschungsbereich Altsteinzeit des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, Neuwied, Schloss Monrepos, 19-21 Mai 1995, 30-31.

Brugal J.-Ph. (1999), Etude de populations de grands Bovidés européens : intérêt pour la connaissance des comportements humains au Paléolithique. In : J.-Ph. Brugal, F. David F., J.G. Enloe et J. Jaubert (éds). Actes du

Colloque intern. « *Le Bison : gibier et moyen de subsistance des hommes du Paléolithique aux Paléoindiens des Grandes Plaines* », Toulouse, 1995. éd. APDCA, Antibes, 85-103.

Brugal J.-Ph. et David F. (1993), Usure dentaire, courbe de mortalité et "saisonnalité" : les gisements du Paléolithique moyen à grands Bovidés. In « *Exploitation des Animaux Sauvages à travers le Temps* », XIIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, IVe Coll. Intern. « L'Homme et l'Animal », éd. APDCA, 63-77.

Brugal J.-Ph., Costamagno S., Jaubert J. et Mourre V. (1998), Les gisements paléolithiques de Coudoulous (Tour-de-France, Lot, France). *Actes XIIIe International Congress of Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Forlì, 8-14 sept. 1996, 141-145.

Brugal J.-Ph. et Jaubert J. (1991), Les gisements paléontologiques pléistocènes à indices de fréquentation humaine : un nouveau type de comportement de prédation ? *Paléo*, n°3, déc. 1991, 15-41.

Brugal J.-Ph., Diez-Lomana C., Michel P. (2001) Karstic cavities, natural bone accumulations and discrete human activities. Paper presented at the 66<sup>th</sup> annual meeting SAA, New Orleans (USA), vol. abstr.: 76

Costamagno S. (1999), Coudoulous II : Taphonomie d'un aven-piège. Contribution des accumulations d'origine naturelle à l'interprétation des archéofaunes du Paléolithique moyen. *Anthropozoologica*, n°29, 13-32.



## L'inventaire des sources potentielles de pollution de l'eau en zone karstique

### Rappel - historique

#### Quelques dates clés

**1992** : le Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées met en place ce document technique d'envergure sur l'eau.

**1995** : une première version de cet inventaire voit le jour sous forme de classeur avec le soutien financier et technique de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et le Conseil Régional Midi-Pyrénées (Agence Régionale Pour l'environnement).

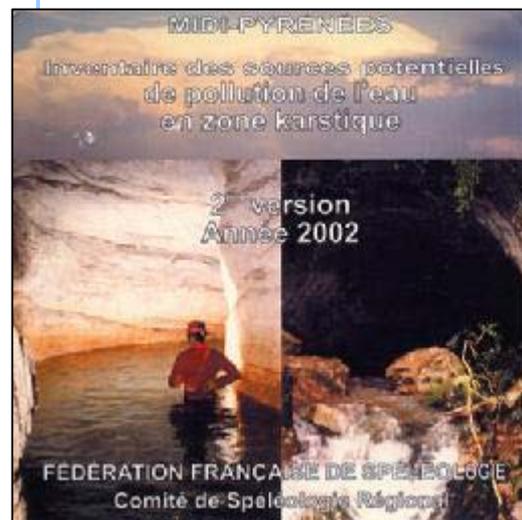
**2002** : une mise à jour de l'inventaire est effectuée et une seconde version est éditée sous forme de classeur ainsi que sous la forme CDRom.

Les partenaires de départ sont toujours présents et une collaboration voit le jour avec l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

#### Le classeur de l'inventaire

La première partie comprend des informations générales (législation, analyse des résultats de l'inventaire, ...).

La seconde partie est constituée par l'inventaire en lui-même sous forme de fiches renseignant sur les sites pollués signalés.



### Objectifs

Observateurs privilégiés des zones du karst, les spéléologues ont un rôle d'information et de sensibilisation à mener. Faire le constat des lieux potentiels de pollution et dresser ainsi les différentes causes de cette pollution est un premier pas vers la prise en charge du problème.

Par ailleurs, le faire au niveau d'une région évite de traiter chaque cas isolément et permet de résoudre plus efficacement le problème pour certains cas qui ne trouvent pas de solution localement.

Les objectifs poursuivis par ce travail sont les suivants :

- instaurer une source d'information rapidement utilisable sur les zones présentant un risque de pollution,
- focaliser l'effort sur la réhabilitation de sites gravement pollués et la sauvegarde de la qualité de l'eau,
- apporter des renseignements utiles lors d'un programme de recherches sur le bassin d'alimentation d'un captage,
- permettre de réunir pour un même système hydrologique une documentation souvent éparpillée dans diverses publications.

### **L'inventaire : un travail continu**

Les rejets dans la nature évoluant avec le temps, cet inventaire est en perpétuelle mise à jour.

Régulièrement les spéléologues constatent une nouvelle pollution sur un site, ou bien constatent qu'une pollution signalée il y a quelques années s'est résorbée, ...

C'est pourquoi, la pérennisation sous version site internet semble la mieux adaptée.

Elle donne en effet la possibilité de mettre à jour l'information facilement et instantanément.

Par ailleurs, elle est accessible facilement par les différents acteurs qui souhaitent disposer d'informations et interactive en permettant de faire des recherches par critères : département, commune, type de rejets, lieux de rejets, ...

Cette solution est retenue dorénavant pour le suivi de l'inventaire comme vous le verrez en page 8 du présent dossier.

## De 2002 à 2006 : bilan de l'inventaire

### Le suivi

Le projet présenté sur cet inventaire en 2001 envisageait la mise à jour de l'inventaire accompagnée de sa sortie en version papier sous forme de classeur et en version CDRom. Par ailleurs il proposait également un suivi des sites signalés pendant 4 années suivant la mise à jour.

Les versions papier et CDRom de l'inventaire sont sortis en 2002 et un suivi s'est mis en place jusqu'à fin 2006.

Ce suivi a été de deux types qui sur certains cas sont complémentaires :

- Un suivi dit de partenariat : il s'agit d'informer les organismes compétents sur certains cas de pollution signalés,
- Un suivi dit d'actions : il s'agit de mettre en place des actions concrètes de dépollution de sites à l'initiative des structures spéléologiques.

Ces actions contribuent à la protection de l'eau et du milieu karstique.

Elles permettent une réelle réhabilitation et valorisation de sites naturels et s'effectuent en étroite collaboration avec les autres acteurs des sites qui poursuivent la même démarche d'évaluation, de sauvegarde et de conservation.

Ces opérations citoyennes, focalisées sur la réhabilitation de sites gravement pollués et la sauvegarde de la qualité de l'eau, participent donc à résoudre des situations dangereuses pour l'environnement et pour la santé de l'homme et qui plus est interdite par la loi. Elles jouent également un rôle de sensibilisation auprès du grand public, des élus, ..., sur le danger de tels dépôts.

Nous nous efforçons d'accompagner ces opérations par des actions parallèles d'information et de sensibilisation sur les conséquences des rejets directs des déchets dans la nature : intervention dans des écoles, soirées de sensibilisation, médiatisation de l'action, mise en place d'aménagements sur les sites (panneau d'information, ...).



Ci-dessus : tas de déchets évacués lors de la dépollution du gouffre du Camion (mars 2006)

## Quelques chiffres

Nombre de fiches de l'inventaire par département :

Dpt	Nbre de signalements en 2002	Nbre de signalements en 2006	Nbre de fiches de l'inventaire dont les sites sont toujours pollués
Ariège	30	30	29
Aveyron	27	27	26
Haute-Garonne	8	10	8
Gers	4	4	4
Lot	92	96	96
Hautes-Pyrénées	22	22	21
Tarn	20	20	20
Tarn-et-Garonne	28	28	28
<b>Total Midi-Pyrénées</b>	<b>231</b>	<b>237</b>	<b>232</b>



+ 6 signalements



5 sites qui ne sont plus pollués

Dpt	1 Nbre de sites pour lesquels une action a été engagée entre 2002 et 2006 (dépollution, courrier aux autorités compétentes, réflexion de travail en cours pour résoudre efficacement le problème)	2 Nbre de sites qui ne sont plus pollués suite à l'engagement de l'action présentée en colonne 1 (action terminée fin 2006)	3 Nbre de sites dont l'action engagée est toujours en cours fin 2006	4 Nbre de sites qui ont été pollués mais qui ne le sont plus (sans action particulière, pollution ancienne, constat suite à visite sur le terrain)
Ariège	1 (dépollution)	1	0	0
Aveyron	1 (dépollution)	1	0	0
Haute-Garonne	2 (réflexions engagées sur courrier)	0	2	2
Gers	0	0	0	0
Lot	2 (1 courrier et 1 réflexion engagée sur dépollution)	0	2	0
Hautes-Pyrénées	1 (dépollution)	1	0	0
Tarn	0	0	0	0
Tarn-et-Garonne	0	0	0	0
<b>Total Midi-Pyrénées</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

## Bilan

### Les opérations spécifiques de dépollution :

#### Détail par année des actions de dépollutions menées et terminées de 2002 à 2006

Année	Opérations spécifiques de dépollutions menées et terminées fin 2006 Nombre et noms des sites concernés
2002	2 sites (Igue de puech Youle - 12 et Gouffre du Figuier - 09)
2003	1 site (Igue de puech Youle - 12)
2004	1 site (Igue de puech Youle - 12)
2005	1 site (Igue de puech Youle - 12)
2006	2 sites (Igue de puech Youle - 12 et Gouffre du Camion - 65)
<b>Total</b>	<b>7 opérations annuelles sur 3 sites</b>

### Ces opérations concernent trois sites majeurs :

	Opération engagée en	Réalisation des travaux
1- l'igue de Puech Youle en Aveyron	2000	De 2000 à 2006, 7 années durant plusieurs week-ends
2- le gouffre du Figuier en Ariège	2001	Octobre 2002
3- le gouffre du Camion dans les Hautes-Pyrénées	2004	Mars 2006

L'engagement d'une opération débute par la réalisation du dossier de présentation qui permettra de fixer les échéances et rechercher des partenaires techniques et/ou financiers.

L'opération menée en 2006 sur le gouffre du Camion avait un caractère national puisque notre Fédération avait retenu ce projet en tant qu'opération nationale.

De façon générale, les actions menées sur les trois sites ont été de lourdes opérations et elles ont nécessité une réflexion et une organisation en amont importante et souvent une ou plusieurs années sont nécessaires avant d'avoir réunies toutes les conditions à la réalisation. (Sensibilisation des élus en amont, partenaires, matériel, ...).

L'investissement bénévole est le pilier de ces actions et il est important tant en nombre de bénévoles impliqués qu'en temps.

La dépollution du gouffre du Camion en mars 2006 a par exemple réuni 150 bénévoles sur deux jours, uniquement pour l'action même de nettoyage sans compter les préparatifs, la logistique en amont, ...

Par ailleurs, ces actions nécessitent également des techniques d'évacuation particulière (voir annexe 2 de ce dossier) et des moyens financiers importants.

L'ensemble des dossiers de présentation et des bilans de ces trois opérations sont disponibles sous format pdf sur les pages de la commission environnement du site internet du Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées.

### Un signalement par écrit aux autorités compétentes :

Le Comité de Spéléologie Régional est ensuite intervenu en août 2005 pour signaler une pollution par des eaux usées sur la commune de Gramat dans le département du Lot. Cette intervention a fait suite à un constat par des spéléologues lors d'une visite sur le site et a permis de soulever un problème d'ordre plus général sur le traitement des boues hydroxydes.

Vous trouverez en annexe 1 les copies des échanges concernant cette pollution et les démarches de notre comité et des autorités compétentes.

### Les actions accompagnant les dépollutions de sites : actions d'information, de sensibilisation, ...

Les opérations de réhabilitations de sites ont permis de mettre place des actions ou des outils de sensibilisation (communications, articles de presse, ...) dont vous trouverez le détail ci-après.

Ces données ne prennent pas en compte le relationnel : recherche de partenariat, rencontres avec les élus.

Année	Actions	Nbre	Site concerné	dpt	détails
2002	Communication	1	Gouffre du Figuier	9	Intervention à l'école d'Eycheil le 11/06/02
2002	Communication	1	Gouffre du Figuier	9	Soirée grand public le 18/10/02
2002	Presse	1	Tous	MP	Article dans la revue de l'Agence de l'Eau Adour Garonne sur l'inventaire (HS hiver 2002 spécial eau souterraine)
2002	Presse	1	Igue de Puech Youle	12	Article dans le livre blanc sur l'état de l'environnement édition 2002 sur l'opération menée sur l'igue de Puech Youle (12)
2002	Presse	1	Tous	MP	Article dans le livre blanc sur l'état de l'environnement édition 2002 sur l'inventaire
2002	Presse	1	Gouffre du Figuier	9	Article dans le livre blanc sur l'état de l'environnement édition 2002 sur l'opération menée sur le gouffre du Figuier (09)
2002	Presse	7 et 1	Gouffre du Figuier	9	7 articles de presse parus + un reportage sur France 3
2003	Presse	1	Gouffre du Figuier	9	Article dans le bulletin municipal de la commune d'Eycheil
2004	Presse	1	Igue de Puech Youle	12	Article dans la revue de l'Agence de l'Eau Adour Garonne sur la dépollution de l'igue de Puech Youle (n° 88 hiver 2004)
2004	Communication	1	Gouffre du Figuier	9	Lors des Assises nationales de l'Environnement karstique
2004	Communication	1	Igue de Puech Youle	12	Lors des Assises nationales de l'Environnement karstique
2004	Support de com	1	Igue de Puech Youle	12	Sortie du CDROM des conférences tenues lors des Assises Nationales de l'Environnement karstique 2004 – Sorèze (81)
2004	Support de com	1	Gouffre du Figuier	9	Sortie du CDROM des conférences tenues lors des Assises Nationales de l'Environnement karstique 2004 – Sorèze (81)
2006	Presse	7	Gouffre du Camion	65	7 articles de presse parus
2006	Support de com	1	Gouffre du Camion	65	Réalisation d'un film sur les actions de dépollution avec comme support l'action menée sur le gouffre du Camion

#### Soit au total :

- **4 communications** (auprès d'écoles, du grand public, conférences lors de manifestations, ...).
- **21 informations** dans les médias et revues spécialisées.
- **3 supports de communication.**

**L'une des dernières actions d'importance majeure est la réalisation d'un film par la commission audiovisuel de notre comité sur les actions de dépollutions d'environ 45 minutes.** Le montage devrait être terminé durant le premier trimestre de l'année 2007.

## Création d'un réseau de partenaires :

L'ensemble des actions menées depuis 2002 à aujourd'hui a permis de mettre en réseau de nombreux acteurs publics et privés à plusieurs échelles et de « fédérer » autour du travail mené.

Sans oublier toutes les structures spéléologiques, les clubs, les Comités départementaux, le Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées et la Fédération Française de Spéléologie.

Vous trouverez ci-après les partenaires réunis à ce jour autour de l'inventaire des sources potentielles de pollution de l'eau en zone karstique et de l'ensemble des actions menées dans le cadre de son suivi.

### Partenaires financiers et techniques :

- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable,
- Direction Régionale de l'Environnement Midi-Pyrénées,
- Agence de l'Eau Adour Garonne,
- Conseil Régional Midi-Pyrénées,
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie,
- Conseils Généraux de l'Aveyron, du Lot et des Hautes-Pyrénées,
- Entreprise Frein de Charge (65)
- Fondation d'entreprise de la Banque Populaire,
- Fondation d'entreprise Veolia Environnement.

### Partenaires techniques :

- Agence Régionale Pour l'Environnement Midi-Pyrénées,
- Conseil Permanent Régional des Associations d'Environnement Midi-Pyrénées,
- Service Régional de l'Archéologie de Midi-Pyrénées,
- Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales Midi-Pyrénées,
- Préfecture du Lot,
- Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Lot,
- Communes de Eycheil (09), Ols-et-Rhinodes (12), Hèches et Gazave (65),
- Groupe scolaire d'Eycheil (09),
- Sapeurs pompiers de Saint-Girons (09),
- SICTOM de Saint-Girons (09),
- Service de déminage de Montpellier (34),
- Fondation CARI,
- Concession Peugeot Alliance.

## 2007-2009 : le travail se poursuit

### Une meilleure diffusion de l'information

Comme nous l'avons vu précédemment l'inventaire **sous forme de site internet** est retenu, au détriment de la version papier ou CDROM, car elle permettra de disposer d'un inventaire constamment à jour, tant sur les fiches de signalement que sur la partie législation, bilan, ... et elle permettra également aux utilisateurs de faire des recherches rapides d'après de nombreux critères.

Cela répondra à une meilleure diffusion de l'information sur la connaissance du milieu karstique et plus particulièrement de la ressource en eau.

Cependant ce site internet sera dans un premier un **site réservé** aux acteurs de l'eau afin qu'ils puissent accéder et consulter les informations contenues dans l'inventaire.

Le code d'accès à ce site sera alors transmis aux organismes acteurs du domaine de l'eau d'après une liste de diffusion préalablement établie qui pourra bien sûr être complétée.

L'accès à un public plus large sera à étudier au cours de la réalisation du projet.

Techniquement cette solution nécessite un hébergement pour le site et une interface permettant de mettre à jour directement en ligne les informations, faire les modifications, ... Une formation de quelques heures sera sûrement nécessaire à la coordinatrice environnement en charge de ce travail au sein du comité régional, pour apprendre à mettre à jour ces informations.

### Une information diffusable pour intégration dans les Systèmes d'Information Géographique

Par ailleurs, afin de mieux valoriser ce travail, son intégration à des bases de données déjà existantes et sur le portail de données sur l'eau du bassin Adour Garonne serait souhaitable.

Les données de notre inventaire pourront être disponibles sous la forme d'une couche d'information géographique directement intégrable au logiciel de SIG. Cependant, lors de la mise à jour de l'inventaire en 2002, notre comité avait investi dans l'achat du logiciel de SIG MapInfo, aussi la couche transmise sera compatible avec ce logiciel. Pour les organismes qui utilisent un autre logiciel (Arcview, ...) les données seront transmises sous fichier excel ou access.

L'existence de cette couche de données pour les Systèmes d'Information Géographiques sera communiquée de la même façon que le code d'accès au site internet et transmise sur demande à notre comité.

D'ores et déjà des contacts avec l'Agence de l'Eau Adour Garonne ont été pris et une réflexion est engagée sur comment intégrer cet inventaire au portail des données sur l'eau du bassin, ...

## Poursuite des actions de dépollutions

Pérennisation du travail déjà mené : elle passe par la surveillance des sites déjà dépollués afin de contrôler qu'il n'y ait pas de nouveaux rejets.

Par ailleurs, des initiatives de dépollutions sont déjà à l'état de réflexion à ce jour et certaines devraient se concrétiser dès la fin de cette année.

Par exemple, le projet de dépollution d'une phosphatière dans le département du Lot est depuis longtemps en réflexion. Etant donné l'ampleur du projet, il est important de bien réfléchir à sa mise en œuvre.

En outre, afin de passer à l'action sur les nouveaux sites de type « canyon » qui seront inventoriés, des opérations de dépollutions sont également en projet, un projet transversal aux commissions environnement et canyon du comité.

## Actions d'information et de sensibilisation

Les différentes actions d'information menées sur l'inventaire pollution ou en complément des opérations de dépollutions ont permis de sensibiliser de nombreux élus, des organismes publics ou privés, les populations locales concernées et un public jeunes dans le cadre d'intervention dans les écoles.

En outre l'opération menée sur le gouffre du Camion dans les Hautes-Pyrénées en 2006 a permis de sensibiliser des jeunes spéléologues (participation de jeunes pratiquants, participation de l'Ecole Spéléo de Bigorre, sensibilisation à la fragilité du milieu dans lequel ils pratiquent) ainsi que des salariés d'entreprises du bâtiment public appartenant à la fondation CARI.

La participation importante, la venue de la population sur les sites le jour même de l'opération de dépollution et les contacts établis montrent la réaction provoquée chez la population locale.

Il est donc important pour réduire les phénomènes de rejets à l'origine de la réalisation de l'inventaire pollution et pour pérenniser les opérations menées, de poursuivre ces actions d'information et de sensibilisation.

Lors de diverses interventions (communication au cours d'une soirée, auprès de communes, ...) nous exposons des panneaux et documents d'information que nous laissons à disposition ou consultation dans un lieu ouvert au public (salle communale, ...).



☪☪ Dans le cadre de ces actions d'information et de sensibilisation, plusieurs projets sont déjà envisagés en 2007 :

- La sortie du support de communication sur les dépollutions (film réalisé avec la dépollution du gouffre du Camion comme support),
- Une soirée officielle de présentation de ce film sera mise en place aux alentours de la commune de Hèches, où est situé le gouffre support, entre autres.
- La réalisation des panneaux sur les canyons, suite à la décision d'intégrer ces lieux de rejets dans l'inventaire,
- Intervention dans une école des Hautes-Pyrénées sur les pollutions en milieu karstique,
- Participation des spéléologues du Lot aux journées Nature Midi-Pyrénées, initiées par le Conseil Régional (avec support notamment la phosphatière qui devrait faire l'objet de la dépollution envisagée),
- Présentation de l'inventaire et des actions de dépollutions lors d'un séminaire de Veolia Eau en juin, ...

Chaque action de dépollution engagée fera voir le jour à d'autres actions de communication.

Par ailleurs, nous essayons de répondre aux sollicitations de partenaires extérieurs afin de faire connaître notre action (exemple de la sollicitation de Veolia Eau pour juin 2007).

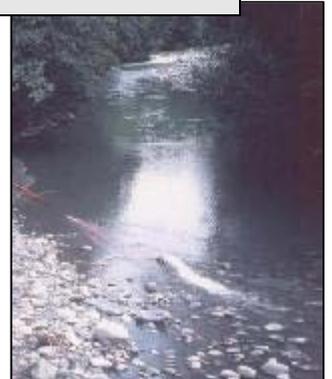
Un dossier de présentation et un dossier bilan sont réalisés à chaque opération de dépollution présentant l'ensemble des actions envisagées.

☪☪ En outre, la signalisation aux autorités compétentes de certains cas se poursuivra au cas par cas.

## Actions de recherches et connaissances sur les sites

La recherche sur certains sites mentionnés dans l'inventaire est importante afin de mieux les connaître sur le plan hydrologique quand les informations sont manquantes (avoir une meilleure connaissance de leurs exutoires, ...). Cela nous permet de mieux appréhender le risque de pollution des eaux, d'aider ensuite par l'apport de connaissances les organismes compétents à la mise en place de périmètre de protection de captages, ...

Ces actions font partie intégrante du suivi de l'inventaire.



A ce jour 2 actions précises sont envisagées en 2007 :

- Mesures de radioactivité sur l'eau de la grotte de St-Paul en Haute-Garonne, nouvelle fiche de l'inventaire intégrée récemment pour cause de pollution potentielle de type « radioactivité ». Les mesures permettront de valider ou non cette radioactivité, et donc la présence de ce site dans notre inventaire.
- Coloration du gouffre du Camion, dépollué en 2006, afin de mieux connaître le système hydrologique en validant les résurgences supposées de ce site. Un dossier est en cours de réalisation sur cette action présentant le projet, les objectifs, le protocole, ... En parallèle ce type d'actions peut constituer des mini-stages de formation pour les spéléologues non avertis.

## La coordination

L'ensemble de ces opérations nécessite un investissement humain important pour le recueil d'information de terrain, la mise à jour de l'inventaire, la mise en place des opérations de dépollution, des actions de communication, ...

Afin de pouvoir mener à bien toutes ces actions, le Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées met à disposition des porteurs de projet et missionne sur le travail régional relatif à ce dossier sa coordinatrice environnement, employée au comité depuis janvier 2000 afin d'apporter un soutien technique aux actions liées au domaine de l'environnement.

Chaque action menée permet alors de pérenniser son emploi.

Dans ce cadre, ces possibilités d'intervention sont les suivantes :

### Dans le cadre de l'inventaire lui-même

#### **è Phase préliminaire :**

- Définition des besoins, des attentes, des objectifs et des résultats
- Définition du choix de la méthodologie
- Positionnement des intervenants : répartition des tâches avec les bénévoles
- Définition d'un échéancier

#### **è Phase d'investigation :**

- Mise en place d'une fiche de récolte des informations, diffusion
- Montage d'un dossier de présentation de l'action
- Montage du budget prévisionnel
- Mise en œuvre : Recherche de partenariats (demandes de subventions)
- Recueil des données
- Mise en place d'une base de données (site internet) et saisie des informations
- Réalisation de la couche SIG
- Mise à jour et diffusion des informations
- Réalisation du document final, bilans annuels
- Diffusion
- Information des autorités compétentes au cas par cas sur certains sites
- Soutien aux actions de recherches et connaissances,
- Soutien aux actions d'information et de sensibilisation

#### **è Phase de conclusion :**

- Suivi des relations avec les partenaires
- Bilan du(es) dossier(s) (budgets réalisés, dossiers synthèse des résultats, bilans)

#### **è Suivi :**

- Définition de la suite à donner à ce travail
- Suivi et mise à jour de l'inventaire (le devenir de ce travail, plan d'actions)

### **Dans le cadre des opérations de dépollution de sites**

#### **è Phase préliminaire :**

Lancement du projet et des actions annexes à l'opération (soirée information grand public, exposition, ...)  
Choix du site  
Positionnement des intervenants : répartition des tâches avec les bénévoles  
Définition d'un échéancier

#### **è Phase d'investigation :**

Montage d'un dossier de présentation de l'action  
Montage du budget prévisionnel  
Mise en œuvre : Recherche de partenariats (demandes de subventions)  
Rédaction et envoi des invitations, suivi  
Communication sur l'action : contact presse (dossier de presse, communiqué) et suivi, informations  
Coordination d'actions annexes à l'opération

#### **è Phase de conclusion :**

Suivi des relations avec les partenaires  
Bilan du dossier (budget réalisé, dossier synthèse des résultats, bilan)  
Réalisation du compte rendu et diffusion

#### **è Suivi :**

Définition de la suite à donner à ce travail (opérations transférables à un autre site, ...)