

THESE DE DOCTORAT
DE
L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

SPÉCIALITÉ GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

LUC BELLEVILLE

HYDROGEOLOGIE KARSTIQUE
GEOMETRIE, FONCTIONNEMENT ET KARSTOGENESE
DES SYSTEMES KARSTIQUES DES GORGES DE L'ARDECHE
(ARDECHE, GARD)

Thèse soutenue le 30 Octobre 1985 devant la commission d'examen:

M. R. MICHEL	Professeur, U1 Grenoble	Président
M. J. SARROT-REYNAUD	Professeur, U1 Grenoble	Directeur thèse
M. P. ELOUARD	Professeur, Lyon 1	Rapporteur
M. J. C. FOURNEAUX	Maître-assistant, U1 Grenoble	Rapporteur
M. J. J. DELANNOY	Assistant, IGA Grenoble	Examineur
M. M. TERRAMOSI	Préfet de l'Ardèche, Commissaire de la République	Invité

BELLEVILLE Luc (1985)
Hydrogéologie karstique. Géométrie, fonctionnement et karstogenèse des systèmes karstiques des gorges de l'Ardèche (Ardèche, Gard). dans **Mémoire de Doctorat 3e cycle de Géologie appliquée** (soutenu le 30 octobre 1985) ; Institut Dolomieu, Université scientifique et médicale "Géologie appliquée" de Grenoble {228p., 95 fig., 28 tableaux, 3 annexes}

71 cavités citées.
 Analyse DELANNOY Jean-Jacques (1987) dans *Karstologia* n°10 (2° semestre 1987) {p.60}. http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/58/62/57/PDF/TheI_se-Belleville-1985.pdf

• Disponible (2013) sur <http://www.foussoubie.fr>
 Abriou [font], p.70
 Aiguille [source de l'], p.56, 65, 67, 103, 104, 167, 169, 170/175, 180, 181, 187, 189/193, 198, 202
 Arbre Rond [aven de l'], p.113/115
 Aulagnière [source de l'], p.62
 Bœuf [source du], p.52, 105/107, 167, 172, 174, 176/178, 202
 Cadet [aven du], p.81/82
 Cadière [perte de la], p.158
 Castor [exsurgence du], p.62, 90, 175, 203
 Cayrebelou [source de], p.61
 Chaire [source de la], p.52, 53, 65, 105/107, 167, 169, 170, 172/178, 187, 189/191, 193, 195, 196, 198, 203
 Châtaigneraie [source de la], p.58, 67
 Châtaigniers [grotte des], p.82
 Colombier [grotte du], p.57
 Crapaud [source du], p.63, 167, 175
 Crottée [fontaine], p.70
 Darbousset [source du Haut], p.70
 Deloly [grotte], p.63/65, 67, 86, 90, 113/115, 123, 158, 167, 169, 175

Déroc [grotte du], p.47, 48, 81, 82
 Double [aven], p.81/82
 Dragonnière [source de la], p.57, 58, 65, 67, 110, 111, 167, 169/175, 182, 185, 187, 189, 190, 202
 Ecluse [source de l'], p.63/65, 67, 86, 90, 113/115, 123, 158, 167, 169, 175
 Fare [source de la], p.57, 65, 110, 111, 167, 169/175, 182, 184, 187, 190, 202
 Fées [événement des] (= Pradier [grotte]), p.70/71
 Fève [source de la], p.63
 Figuier [source du], p.57, 67
 Font Ponchon [source du ruisseau de], p.63/64
 Fontlongue [aven de], p.64
 Forge [grotte de la], p.54
 Foussoubie [événement de], p.54, 55, 67, 105/111, 173
 Foussoubie [goule de], p.49/56, 83/90, 105/112 ; p.10, 42, 43, 44, 46, 48, 65, 66, 75, 94, 95, 99, 100, 123, 124, 125, 127, 128, 167/170, 172, 174, 175, 178/180, 187, 189, 190, 203, 206 ; fig.24, 26/30, 36, 45/48, 55/58, 63, 64, (65), 79/82, (83/84), 85, (88), 91, (94) ; tableaux 1, 2, 26/28 ; annexes 1, 3
 Guigonne [événement de la], p.51, 61, 62, 65, 113, 167, 175, 202, 303
 Guitard [perte du gué de], p.158
 Huguenots [grotte des], p.54
 Ibie [exsurgence de l'], p.56
 Issirac [aven de la Plaine du Bois d'], p.45
 Langue du Boeuf [source de la], p.57, 67, 110, 111
 Madeleine [lac du Cirque de la], p.62, 113
 Madeleine [perte du Cirque de la], p.158
 Madeleine [source de la], p.62
 Marichard [événement de], p.70
 Marteau [aven du], p.45
 Marzal [aven du faux], p.45
 Marzal [aven], p.112
 Mayaguar [exsurgence de], p.62
 Minoterie [source de la], p.167

Moulin [source du Bas], p.167, 174, 175, 182, 183
 Orgnac [aven d'], p.45, 47, 48, 81, 84/86, 95
 Panis - Aiguille [réseau], p.158
 Parapluie [source du], p.59, 67
 Pascaloune [grotte de la], p.99, 116, 118/120
 Passeron [source du], p.63, 34, 113/115, 118, 167, 172/175
 Pères [fontaine des], p.70
 Pierre Brune [source de], p.168/169
 Pissevieille [perte de], p.169, 172
 Platane [source du], p.59, 65, 67, 113
 Pradel [source du], p.70
 Ranc Pointu [source du], p.114/115
 Richemale [source de], p.51, 59, 61, 113, 158, 167, 169, 175
 Rieussec [perte du], p.105, 106, 169, 172, 176, 178
 Rives [événement de], p.70
 Rochas [aven], p.45, 47, 48, 51, 59/61, 65, 81, 82, 84/86
 Ronze [baume de], p.48
 Saint-Marcel [grotte de], p.47, 48, 63, 64, 67, 81, 82, 84/86, 88, 89, 95, 99, 114/116, 120, 123, 158
 Salavaud [source de], p.70
 Tiourre [émergence du Vallon du], p.56, 65, 67, 103, 167, 169, 170, 172/175, 182, 183, 187, 190, 191, 193, 194, 198, 202
 Tourne [sources de], p.68/70, 86, 91/93, 95, 116, 118, 119, 120, 122, 123, 167, 169/175, 186, 191, 196/198, 201/203, 206, 207
 Trois Eaux [source des], p.57
 Vallon [source du], p.191
 Vanmale [source de], p.56, 65, 67, 90, 94, 110, 111, 162, 171, 172, 174, 175, 184, 191, 198
 Vigne Close [aven de la], p.45, 99, 113/115, 119
 Vin [fontaine de la Combe du], p.70

La source du Bas-Moulin qui émerge dans la partie aval du vallon s'individualise par rapport à ces écoulements. La vitesse du traceur, proche de 100 m/h, indique également un transit souterrain rapide. Son cheminement reste incertain puisqu'il peut s'agir d'eaux issues de la source du Tiourre et réinfiltrées ou d'une alimentation propre depuis le point de perte.

Il serait intéressant de reprendre cet essai de traçage au vu de ces premiers résultats. La quantité de traceur doit être majorée de manière à obtenir des valeurs significatives en début et fin de réponse. Les valeurs de transit obtenues permettront de réaliser cette manipulation dans de bonnes conditions et d'individualiser l'ensemble de la courbe de restitution du traceur.

La source de l'Aiguille n'a pas été affectée par le traceur malgré son alignement avec la perte sur des fractures N 50. Cette source n'intervient donc pas dans le drainage de la partie sud de la dépression de Saint-Remèze. Elle doit être alimentée par la partie élevée du plateau qui domine l'Ardèche, en arrière du Serre-de-Tourre.

3 - 3. LE TRACAGE DU RUISSEAU DU RIEUSSEC

Caractéristiques du traçage (fig. 53)

Ce traçage a été réalisé le 31.05.83 en rive droite de l'Ardèche sur la perte totale du Rieussec. Cette perte n'est pas réellement localisée : le ruisseau présente, dans sa partie terminale, une diminution progressive des débits jusqu'aux dernières vasques qui marquent la perte totale.

Trois sources des gorges de l'Ardèche ont été contrôlées :

- la source du Boeuf, distante de 1000 m, présente un dénivelé de 55 m avec le point d'injection, soit une pente moyenne de 5,5 ‰. Cette source est captée par le Syndicat des Eaux de Barjac ;
- la source de la Chaire connaît des caractéristiques similaires ;
- l'Event de Foussoubie, distant de 1100 m, montre un dénivelé légèrement supérieur à 50 m.

En raison de l'existence d'une source captée à l'aval, il n'a été injecté que 600 grammes de fluoréscéine . Cette coloration se déroule plus de dix jours après de fortes pluies, c'est-à-dire en dehors d'une période de crue. Cette époque correspond cependant à la fin de la recharge du karst. Au point d'injection, 200 m à l'amont de la perte totale, le débit du ruisseau est de 3,5 l/s.

Objectifs

Cette expérience de traçage était susceptible de lever de nombreuses ambiguïtés sur l'hydrogéologie de ce secteur amont de la rive droite de l'Ardèche. Il s'agissait en effet :

- de délimiter les bassins versants respectifs de deux unités karstiques proches et d'assez forte importance pour les gorges de l'Ardèche : les sources du Boeuf et de la Chaire d'une part, l'Event de Foussoubie d'autre part ;

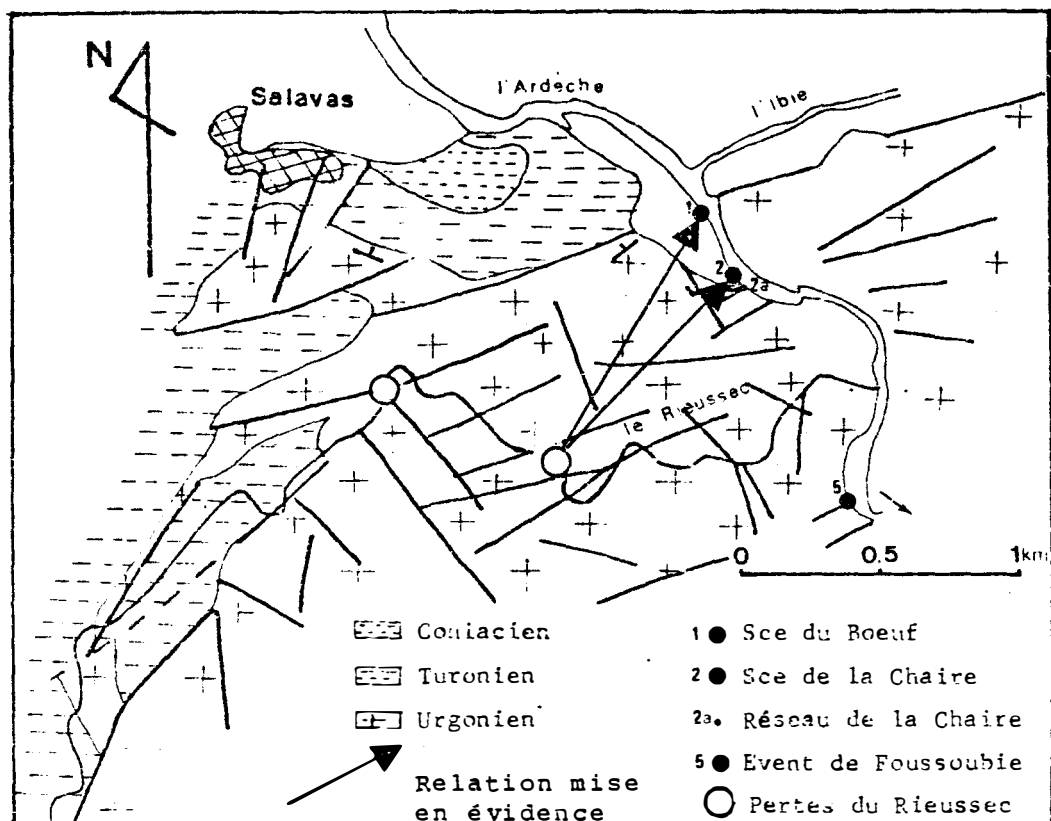


fig.55 : Contexte géologique et résultats du traçage du Rieussec.

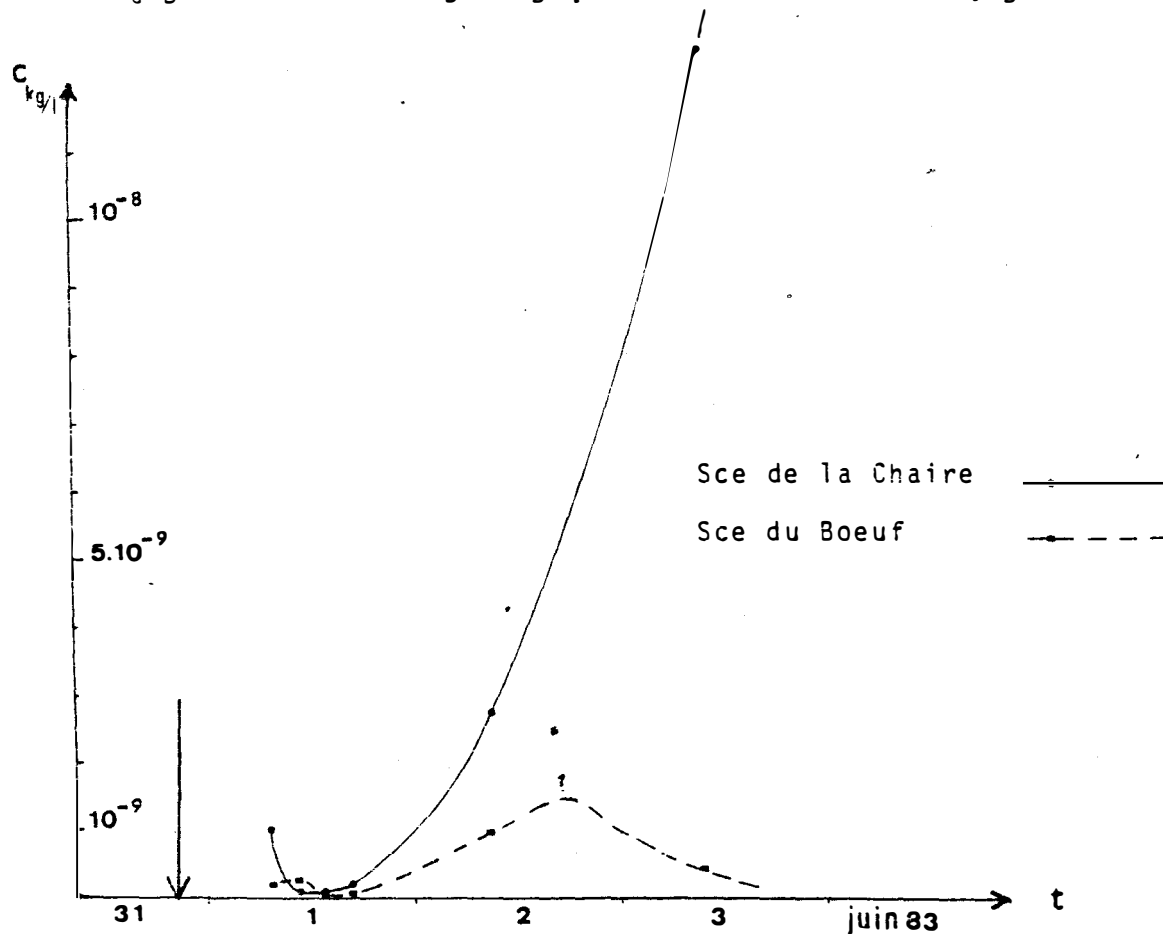


fig.56 : Traçage du Rieussec: courbe de restitution du traceur.

- de déterminer la vulnérabilité de la source captée du Boeuf et de préciser ses rapports éventuels avec la source de la Chaire;
- de comprendre le fonctionnement de cette partie du karst par une approche dynamique.

Résultats (fig. 56)

Le traceur n'a été décelé qu'aux émergences de la Chaire et du Boeuf. La vitesse d'arrivée du colorant est élevée et supérieure à 100 m/h. On observe une allure bimodale des deux courbes de restitution. La mise en eau d'un barrage agricole, à l'amont du point d'injection, au cours de la manipulation, a perturbé l'infiltration durant une demi-journée. Cet incident explique l'anomalie dans la forme des courbes de restitution.

Si le temps de réponse des deux émergences est quasi-simultané, la concentration en traceur est beaucoup plus forte à la source de la Chaire. Elle atteint une valeur de $1,25 \cdot 10^{-8}$ kg/l pour une concentration maximale de l'ordre de 1 à $2 \cdot 10^{-9}$ kg/l pour la source du Boeuf.

Il existe donc un axe de drainage direct entre la perte du ruisseau du Rieussec et les émergences de la Chaire et du Boeuf permettant d'évacuer rapidement ces eaux d'infiltration rapide. La disparité entre les concentrations des deux sources peut s'expliquer soit par la divergence des eaux de la perte vers deux systèmes karstiques différents et dans des proportions inégales soit par une organisation particulière du réseau Chaire-Boeuf. Nous inclinerions davantage vers cette hypothèse : l'émergence de la Chaire joue le rôle d'évacuateur de crue principal, l'émergence du Boeuf est plus étroitement reliée au karst noyé. Les données hydrochimiques et hydrodynamiques fourniront des arguments complémentaires.

Le réseau de Foussoubie ne semble pas étendre sa zone d'alimentation vers le Nord-Ouest. L'accident N 50 sur lequel émerge l'évent pourrait constituer la limite occidentale de son bassin versant.

3 - 4. LE TRACAGE DE LA GOULE DE FOUSSOUBIE

Plusieurs colorations ont été effectuées sur la Goule de Foussoubie par le G.R.B. (Groupe de Recherches Biospéléologiques). Le but de ces manipulations n'était pas de mettre en évidence la relation entre la Goule et l'Event de Foussoubie puisque des plongeurs belges avaient réalisé la jonction dès 1967. Il s'agissait par contre de préciser les modalités d'écoulement dans le réseau lors d'épisodes hydrologiques différents.

Caractéristiques des traçages

La Goule et l'Event de Foussoubie sont distants de 3,4 km pour une dénivellation de 125m, soit une pente moyenne de près de 4 %. La source de Vanmalle, située à 1,5 km à l'aval de l'Event de Foussoubie, est distante de 3,5 km de la Goule pour une dénivellation identique. Ces deux exurgences ont été contrôlées.

Les mesures ont été effectuées grâce à tube U.V. de type TW6W Philipps et une gamme-étalon de fluorescéine. Nous ne connaissons pas la fiabilité de ce matériel. Le seuil de détectabilité est élevé, voisin de 10^{-9} kg/l. La précision des mesures n'est correcte que pour des concentrations excédant 10^{-8} kg/l.

Traçage de mars 1975 (fig. 57)

La coloration a été réalisée en période de décrue : le débit de la Goule passe de 80 l/s au moment de l'injection à 5 l/s après une semaine. 0,5 kg de fluorescéine ont été lâchés dans la Goule. La vitesse d'arrivée du traceur est de 69 m/h à l'Event, la source de Vanmalle n'a pas été contrôlée. Le pic de la crue n'a pas été perçu, il arrive rapidement et est suivi par une lente décroissance de la concentration.

Traçage d'avril 1976

Cette coloration a été réalisée avec des débits faibles à la Goule : de l'ordre de quelques litres par seconde. 3 kg de fluorescéine ont été injectés. Le colorant a progressé à 35 m/h. La source de Vanmalle n'a pas présenté de colorant. Le colorant est sorti massivement durant plusieurs jours à l'Event.

Traçage de novembre 1976

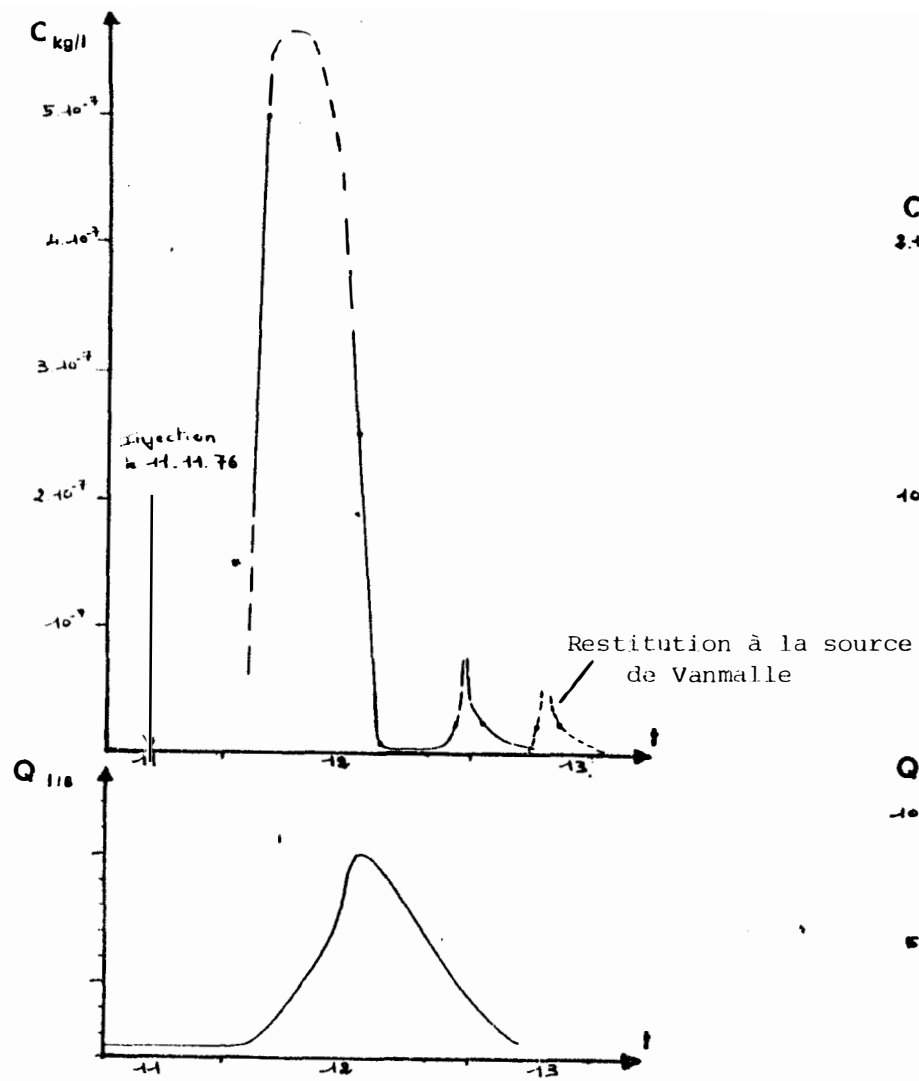
3 kg de colorant ont été injectés à 800 m à l'amont de la Goule. Le ruisseau déjà en crue (250 l/s lors de l'injection) a bénéficié de fortes précipitations (21,3 mm à Labastide-de-Virac) qui ont provoqué une crue de près d'un m³/s à la Goule. Les deux exurgences de l'Event de Foussoubie et de Vanmalle ont été atteintes par le traceur avec une vitesse minimale d'arrivée respectivement de 340 m/h et de 100m/h (fig. 58).

La courbe de restitution du traceur à l'Event est bimodale. Une forte crue s'est déclenchée à la goule après que le pic de concentration maximal ait été obtenu à l'Event. Cette poussée a remobilisé le colorant restant dans le réseau, ce qui se traduit par un second pic lors de la crue de l'Event. Notre analyse diffère de celle des auteurs de la coloration (P. SLAMA, 1976) qui concluaient à un double cheminement des eaux dans le réseau selon des vitesses différentes.

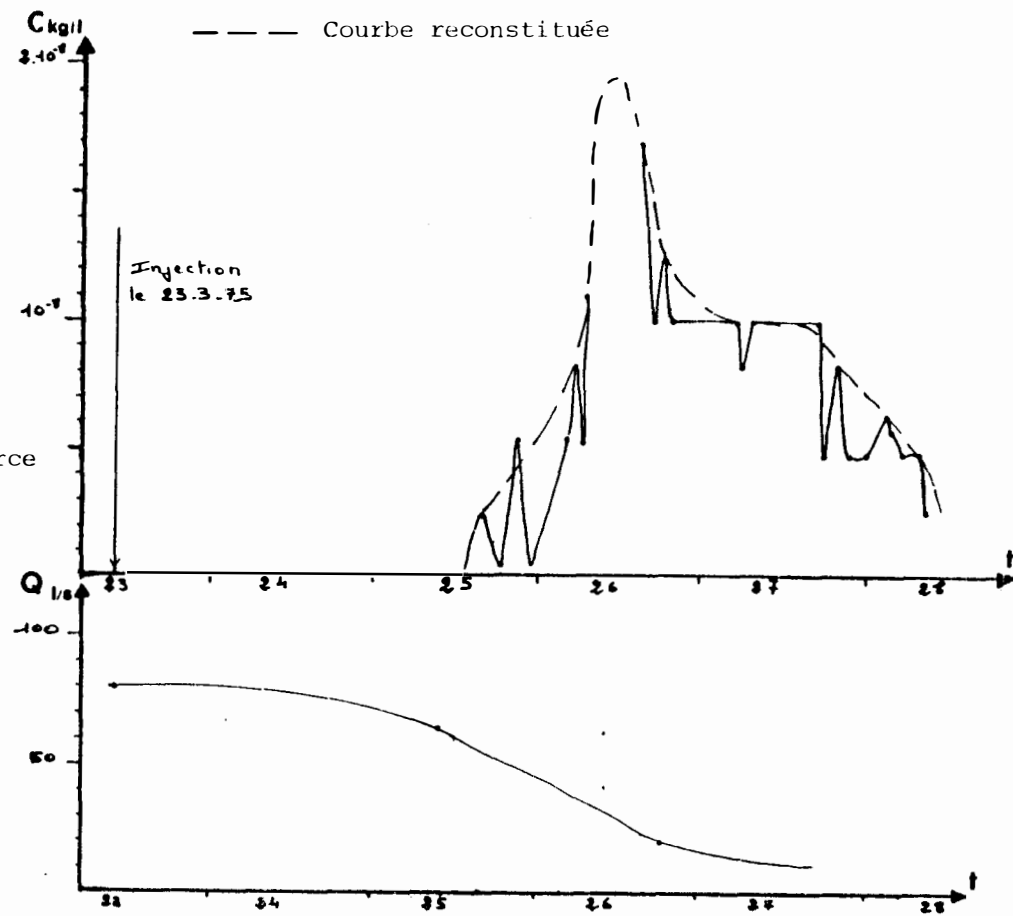
Conclusions

Ce triple traçage de la Goule de Foussoubie est riche en enseignements. Effectués dans des conditions hydrologiques différentes, crue exceptionnelle, faible crue et décrue, ces manipulations permettent de bien cerner ce réseau :

- Le réseau de Foussoubie est organisé autour d'un axe de drainage direct entre la Goule et l'Event. Ce réseau est en mesure d'évacuer de fortes crues en un temps minime, ce qui souligne un degré de karstification et de développement élevé.



a) Traçage de novembre 76



b) Traçage de mars 75

fig.57: Traçages de Foussoubie: courbes de restitution et hydrogrammes de la Goule

- La contamination de la source de Vanmalle lors du traçage en crue est particulièrement intéressante. Une incertitude demeure: le colorant n'a-t-il pas été détecté à cette émergence, lors des autres traçages, par un manque de précision des appareils de mesure ou par une absence réelle ? Dans le cas de cette seconde hypothèse, il apparaît donc un changement des limites entre les bassins versants des deux émergences selon le régime hydrologique considéré. Les deux bassins versants géologiques sont indépendants en régime normal. En crue, lors de la saturation du réseau de Foussoubie, les eaux atteignant les cotes les plus élevées basculent vers le bassin de Vanmalle. Ce phénomène se retrouve probablement sur l'ensemble du plateau des Gras. L'organisation hydrogéologique en réseaux parallèles orientés vers les gorges de l'Ardèche favorise une telle fluctuation latérale des limites de bassins versants.

- Le tableau récapitulatif suivant permet de comparer ces différents traçages. Outre les temps et les vitesses minimales d'arrivée, $t_{\min}$ et $v_{\min}$, il comprend le temps modal t_{mod} et la vitesse modale v_{mod} des particules ayant la plus forte probabilité d'arrivée.

Date	Masse de traceur M (kg)	Débit d'injection Q_i (l/s)	$t_{\min}$ (h)	$v_{\min}$ (m/h)	t_{mod} (h)	v_{mod} (m/h)
Mars 75	0,5	80	50	68	76	45
Avril 76	3	1 à 5	98	35	160	21
Nov. 76	3	250	10	340	15	230

tableau2 : Caractéristiques des traçages de la goule de Foussoubie.

Il est intéressant de remarquer que le temps modal d'arrivée du colorant est identique à une fois et demi le temps minimal. Quelles que soient les conditions hydrodynamiques, les modalités de transit du colorant sont similaires. Les eaux issues de la goule de Foussoubie ne séjournent que très peu dans ce réseau à fort pouvoir évacuateur. Elles n'ont donc probablement qu'un rôle limité dans la karstogenèse actuelle de la cavité.

3 - 5. LE MULTITRACAGE DE LA RIVE DROITE DE L'ARDECHE

Deux traçages simultanés ont été réalisés à l'Est et au Sud-Est de Labastide-de-Virac, le 15 septembre 1983. Les deux injections ont été effectuées dans des zones lapiazées bien évoluées sans relation avec un écoulement d'eau. C'est donc grâce au camion-citerne des sapeurs-pompiers de Vallon-Pont-d'Arc que cette opération s'est déroulée.

Caractéristiques des traçages (fig. 58)

- 2 kg de Rhodamine B poussés par 800 l d'eau ont été injectés, à 800 m à l'Est de Labastide-de-Virac, sur les reliefs urgoniens bordant la partie orientale de la dépression de Vagnas-Labastide. La cavité retenue se situe à la cote de 280 m. Le point d'injection est distant de 3,6 km de l'Event de Foussoubie (et de 5,9 km en passant par la Goule), de 3,0 km de la source de Vanmalle, de 2,6 km de la source de la Fare et d'environ 3 km des sources de la Langue du Boeuf et de la Dragonnière.

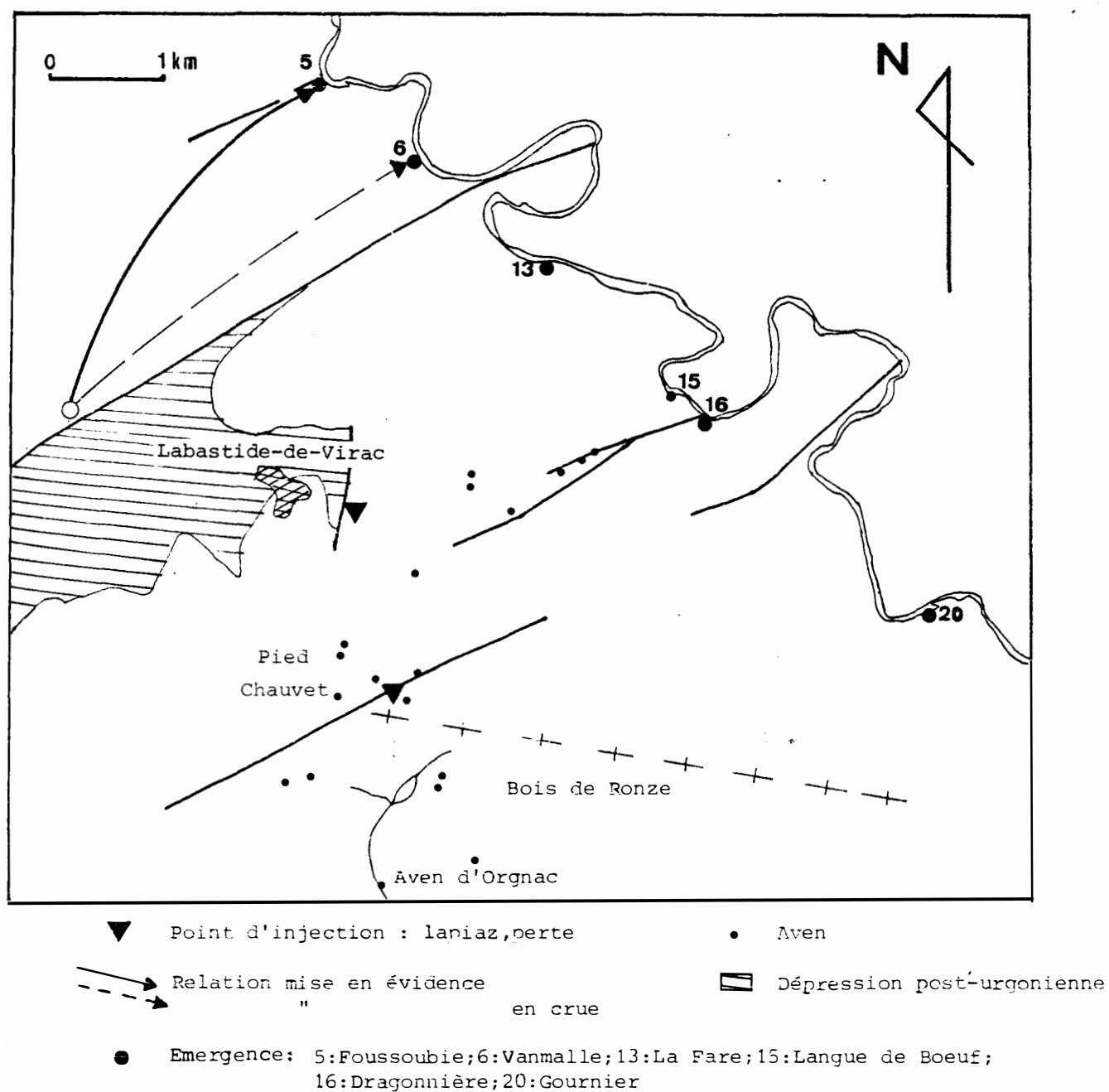


fig. 58: Contexte hydrogéologique des tracages de la rive droite de l'Ardèche

- 2 kg de fluorescéine poussés par 1200 l d'eau ont été injectés dans un profond lapiaz dans la zone du Pied Chauvet, c'est à dire dans la zone septentrionale du Bois de Ronze. Le point d'injection coté 330 m est distant de 3,5 à 4,5 km des exurgences des gorges: Vanmalle, Fare, Dragonnière, Gournier.

L'ensemble des émergences des gorges précédemment citées a été échantillonné. Au Sud, les premières émergences rencontrées sont celles de la rive gauche de la Cèze. Par mesure de précaution, la plus importante d'entre elles (la source de Monteils distante de 7,5 km du Pied Chauvet) a été équipée de fluocapteurs au charbon actif.

Objectifs

Les deux zones d'infiltration retenues semblent appartenir au bassin versant de l'Ardèche. Elles sont en mesure d'alimenter de nombreuses émergences des gorges et la mise en évidence d'une relation serait déterminante pour la compréhension des écoulements de la bordure de la rive droite.

Il serait également intéressant de préciser si le bassin de la Goule de Foussoubie draine des écoulements karstiques du bassin géographique de l'Ardèche. Le contrôle de la Goule permet d'envisager cette hypothèse.

Le Pied Chauvet est un secteur d'infiltration riche en lapiaz et comportant de nombreux avens. Il s'inscrit sur le tracé d'une faille N 50 plurikilométrique. La zone située à l'Est de Labastide est également voisine d'un accident parallèle qui aboutit à la source de la Dragonnière. Le problème du rôle hydrogéologique de ces accidents reste posé.

Résultats

Les contrôles de la fluorescence ont été effectués durant un mois et demi sans qu'aucune trace de colorant ne soit apparue. Contre toute attente, aucune précipitation sérieuse n'a été enregistrée durant le premier mois de mesures. C'est seulement au 13 et 14 octobre 1983 que 45 + 90 mm sont tombés à Vallon-Pont-d'Arc.

Ces conditions météorologiques défavorables n'ont pas permis le transfert du colorant. La période d'étiage a laissé une large tranche superficielle complètement asséchée. Cette dernière a dû constituer un véritable piège pour le traceur.

3 - 6. LE MULTITRACAGE DU PLATEAU DE SAINT-REMEZE

Un double traçage a été réalisé le 1er juin 1984 sur la rive gauche de l'Ardèche. La première injection s'est déroulée entre Bidon et Saint-Remèze à 800 m au NE de l'aven de Marzal. Quelques zones lapiazées apparaissent. Des lapiaz plus ouverts forment des cavités de faible diamètre s'enfonçant en pente douce vers le Sud. C'est dans l'une d'elle que 7,6 kg de Rhodamine B ont été injectés poussés par 3 m3 d'eau apportés par les sapeurs-pompiers de Bourg-Saint-Andéol.